

ANALYSE DES SOLUTIONS POSSIBLES AUX INONDATIONS DANS LE CENTRE URBAIN
D'OTTAWA ET DE GATINEAU

Par
Michelle Beaudoin

Essai présenté au Centre universitaire de formation
en environnement et développement durable en vue
de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.)

Sous la direction de monsieur Darren Bardati

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Février 2018

SOMMAIRE

Mots clés : adaptations structurelles, barrage, canal de dérivation, digue, Gatineau, inondation, Ottawa, plaine inondable, redressement du chenal, restauration des milieux naturels

Le processus d'inondation est relativement commun dans certaines régions du monde. Il fait partie des cycles naturels qui sont aggravés par les changements climatiques. Les inondations gagnent de l'intensité et réussissent à franchir la crue de 100 ans à plusieurs reprises. Par la suite, quelques semaines ou mois sont requis pour réhabiliter la région affectée. Quand ces événements extrêmes se produisent en région urbaine, telle que la vallée de l'Outaouais en printemps 2017, les dommages sont facilement doublés.

L'événement en question a engendré une réponse rapide des autorités locales d'Ottawa, Ontario et de Gatineau, Québec suite à une déclaration d'état d'urgence à Gatineau pour obtenir le soutien du gouvernement fédéral. Tous les organismes de bassin versant régionaux ont fait leur possible pour limiter le volume d'eau supplémentaire dans la ville. Malgré ces efforts, l'événement a tout de même causé de nombreuses évacuations, de la contamination des eaux de surface, quelques glissements de terrain et beaucoup de déplacement des populations fauniques. D'autres inondations de magnitude comparable se sont également produites dans cette région lors de la dernière décennie. Pour cette raison, il est impératif de trouver une solution à long terme pour réduire les risques de ces événements dans les années à venir.

Les six solutions potentielles identifiées sont : des barrages, des digues et levés, un canal de dérivation, le redressement du chenal, l'évacuation de la plaine inondable et la restauration des milieux naturels. Les solutions ont ensuite été évaluées selon une douzaine de critères d'analyse. Entre autres, elles doivent être applicables à Gatineau ainsi qu'à Ottawa, et être adaptées pour prendre en compte des changements climatiques. En Plus, les solutions doivent convenir aux provinces de l'Ontario et du Québec, qui ont juridiction sur l'aménagement de leurs territoires respectifs. Les coûts des installations doivent être pris en compte et le public doit accepter la solution proposée. Aussi, les autres communautés en amont et en aval de la rivière doivent être consultées ainsi que les conditions naturelles de l'endroit. Ces dernières incluent les conditions hivernales, les périodes de sécheresse, les sols à risque de glissements de terrain, les paramètres de l'eau et l'écologie régionale.

Suite à cette analyse, la restauration des milieux naturels est clairement la méthode la plus rapide et la moins coûteuse, ce qui fait en sorte qu'elle est plus facilement adaptée à la majorité des collectivités pour réduire le risque d'inondation. L'évacuation des plaines inondables est aussi une bonne solution suivie par les barrages et les adaptations structurelles. Les autres solutions, malgré leur potentiel d'efficacité dans d'autres régions, amèneraient des conséquences désastreuses à la géographie régionale de la capitale nationale.

ABSTRACT

Key words: channel straightening, dam, deviation canal, dyke, flooding, floodplain, greenspace restoration, Gatineau, Ottawa, structural adaptations

Flooding is a natural phenomenon that occurs relatively frequently in certain parts of the world. In many regions, the natural cycles that regulate these events are being affected by climate change. Heavy precipitation can gain enough intensity to surpass the 100-year floodplain inflicting damage that requires weeks, sometimes months to recover from, if at all. When these flooding extreme events hit an urban residential area, the financial costs and ecological damages are heightened. That's what happened in the Ottawa valley over the spring of 2017.

The Ottawa River forms the border between Canadian provinces of Ontario and Quebec. In order to receive help from the federal government, a state of emergency was declared in Gatineau triggering a rapid response from local authorities in both Ottawa, Ontario and Gatineau, Quebec. All watershed organisations in the region did as much as they could to subdue the volume of flooding present within the city limits. The event however still caused numerous evacuations, surface water contamination, several landslides, and various forms of wildlife displacements. This is not the first time that a serious flooding event hits the region, both in and out of the city limits, nor is it likely to be the last. For this reason, it is imperative both cities find long-term solutions to reduce the risks associated with such an occurrence.

Six possible solutions were identified including: dams, dykes and levees, deviation canals, channel straightening, floodplain evacuation, and greenspace restoration. Solutions were then analysed based on a dozen criteria. Their effectiveness in preventing floods is the obvious choice. Solutions need to be applicable to both Ottawa and Gatineau and must be adapted to predicted climate changes in any given year to be of any use to the region. Installation costs and public opinion are also important while other factors must also be considered. The two cities must collaborate on the solutions as both have jurisdiction over land use yet they are known to rarely agree on anything. Communities up and downstream must also be consulted due to the impacts the proposed solutions will have on them during subsequent flooding or drought. Finally, the solutions must consider the natural parameters that govern the region including long winter conditions, soils prone to landslides, water parameters, and the ecology of the region.

Following this analysis, restoring greenspace is clearly the quickest, most cost effective and generally the best accepted method of reducing flood risks in the future. Freeing the floodplain of human constructions is a close second followed by dams and structural adaptations. Though dykes, deviation canals and channel straightening are promising solutions for other regions, however, they would cause disastrous consequences if applied in the Capital Region.

REMERCIEMENTS

Je veux premièrement remercier mon directeur d'essai, Darren Bardati, qui a accepté de diriger mon essai même si le sujet est légèrement hors de son domaine de spécialisation. C'est un sujet que je tiens à cœur. Un gros merci pour les nombreuses heures passées à travailler avec moi pour lire les divers chapitres de mon essai et le commenter.

Merci à mes anciens collègues de travail chez *Mississippi Valley Conservation Authority*. C'est vous qui m'avez enseigné les principes de gestion de l'eau et l'importance des décisions. Merci de m'avoir donné accès à vos archives et de m'aviser des activités sur la rivière Mississippi de l'Ontario même trois ans après la fin de mon contrat chez vous.

Merci à tous mes amis et collègues qui ont accepté de relire mon essai. Je ne pourrai jamais vous rembourser toutes les heures que vous y avez mis. Vous trouvez toujours des éléments positifs à ajouter et je vous souhaite tous les plus grands succès dans vos projets futurs.

Je souhaite également souligner l'énorme soutien de ma famille. Maman et papa, vous m'avez toujours encouragé à pousser les limites de mon savoir. Vous m'avez interrogé et, de là, incité à apprendre plus sur le vaste sujet qui est l'environnement. Je ne pourrai jamais souhaiter avoir eu de meilleurs parents. Merci à ma sœur et à ma parenté qui m'ont tous montré du support irremplaçable.

Finalement, je désire remercier tous mes professeurs qui m'ont inspiré de poursuivre mes études dans le domaine de l'environnement. Je vais toujours tenir à cœur les notions que j'ai apprises sous votre enseignement.

Merci à vous tous! / *Thank you all!*

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. MISE EN CONTEXTE.....	3
2. LES INONDATIONS EN CENTRES URBAINS.....	5
2.1 Les événements récents.....	6
2.1.1 Mesures de préventions	9
2.1.2 Mesures à prendre en cas d'inondations	12
2.2 Impacts environnementaux secondaires.....	14
2.2.1 Pollution et qualité de l'eau	14
2.2.2 Érosion.....	15
2.2.3 Déplacements des populations fauniques	17
2.2.4 Humains et la boucle de rétroaction	18
2.3 Impact des changements climatiques sur la fréquence d'inondations.....	19
2.4 La plaine inondable.....	21
3. LES SOLUTIONS	27
3.1 Tentatives faites par le passé sur la rivière des Outaouais	27
3.2 Barrages	29
3.3 Digue et levées	32
3.4 Canal de dérivation	35
3.5 Redressement du chenal.....	38
3.6 Adaptations structurelles.....	39
3.7 Évacuer la plaine inondable	41
3.8 Restauration des milieux naturels	43
4. ANALYSE MULTICRITÈRE.....	46
5. LES RECOMMANDATIONS.....	58
CONCLUSION.....	61
RÉFÉRENCES	62
BIBLIOGRAPHIE.....	70
ANNEXE 1 : CARTES COMPLÈTES DE LA PLAINE INONDABLE DE LA FIGURE 2.7	72

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1	Limites du bassin versant de la rivière des Outaouais (a) et la frontière politique qui divisent la région (b)	3
Figure 2.1	Endroits où un débordement de la rivière des Outaouais a été observé lors des inondations en début mai 2017.....	7
Figure 2.2	Schématisme du procédé d'application de la PPRLPI sans compter la possibilité d'exceptions	11
Figure 2.3	Étendue des gisements d'argile à Léda dans la vallée de la rivière des Outaouais et le risque de glissements de terrain qu'il crée dans la région	16
Figure 2.4	Schématisme des interactions entre les inondations et ses causes secondaires.....	19
Figure 2.5	Carte du monde qui indique les changements de précipitation en mm d'eau prédit en surplus à la moyenne annuelle	20
Figure 2.6	Sous-bassins de la rivière des Outaouais et les acteurs qui les gouvernent.....	22
Figure 2.7	Exemples de cartes qui délimitent la plaine inondable pour (a) la rivière Gatineau, (b) MVCA et (c) la ville d'Ottawa	23
Figure 2.8	Carte des principaux développements résidentiels et industriels près de la rivière des Outaouais dans les villes d'Ottawa et de Gatineau	24
Figure 2.9	Développements résidentiels du secteur Hull à Gatineau dans la crue de récurrence de 20 ans.....	25
Figure 2.10	Exemple d'un développement urbain en plaine inondable à Ottawa qui a dû faire appel à de l'aide fédérale lors des inondations récentes.....	26
Figure 3.1	Barrage sur la rivière Mississippi à la jonction de la rivière des Outaouais.....	29
Figure 3.2	Niveaux d'eau au barrage de Carleton Place, en amont d'Ottawa, mesuré entre mai et septembre	31
Figure 3.3	Localisation des barrages principaux sur la rivière des Outaouais.....	32
Figure 3.4	Exemples de digues de la rivière Thames à London, ON et Brewer Park à Ottawa	32
Figure 3.5	Étalement des digues de la rivière rouge dans la ville de Winnipeg et les villages du Manitoba qui ont suivi l'exemple pour se bâtir des digues de périmètre	35
Figure 3.6	Canal de dérivation à Winnipeg	35
Figure 3.7	Exemple de dérivation vers une autre rivière plus adaptée en Louisiane et à Winnipeg	37
Figure 3.8	Rivière naturelle formée de méandres et une rivière redressée	38
Figure 3.9	Carte de la rivière des Outaouais et des projets de la CCN aux centres-villes d'Ottawa et de Gatineau.....	39

Figure 3.10	Méthodes de protection contre les inondations	39
Figure 3.11	Plaine inondable naturelle à proximité d'une ville.....	41
Figure 3.12	Milieu humide restauré par Canards Illimités	43
Figure 3.13	Possibilités de réduction des inondations par la présence d'espace vert.....	44
Figure 4.1	Représentation des résultats d'analyse qui montre les meilleures solutions pour la région.....	56
Tableau 4.1	Description des critères d'évaluations et de la méthode d'évaluation.....	46
Tableau 4.2	Les barrages comme solution aux inondations.....	49
Tableau 4.3	Les digues et levées évaluées selon les critères d'évaluation.....	50
Tableau 4.4	Le canal de dérivation évalué comme solution aux inondations	51
Tableau 4.5	Le redressement du chenal de la rivière des Outaouais à la traversée des deux centres-villes	52
Tableau 4.6	Les adaptations structurelles en tant que solution aux inondations.....	53
Tableau 4.7	Évacuer la plaine inondable évaluée comme solution.....	54
Tableau 4.8	Restaurer les milieux naturels, soit les sols exposés, les milieux humides, les sites forestiers et d'autres milieux de verdure.....	55
Tableau 4.9	Résultats de l'évaluation des critères d'analyse	56

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

AAFCC	Accords d'aide financière en cas de catastrophe
ABV des 7	Agence de bassin versant des 7
CCN	Commission de la capitale nationale
CIC / DUC	Canards Illimités Canada/ <i>Ducks Unlimited Canada</i>
CO	<i>Conservation Ontario</i>
ECCC	Environnement et Changements climatiques Canada / <i>Environment and Climate Change Canada</i>
GIEC / IPCC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat / <i>International Panel on Climate Change</i>
IBC	<i>Insurance Bureau of Canada</i>
ICCA	<i>Intact Centre on Climate Adaptation</i>
MAMOT	Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire du Québec
MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MRNFQ	Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec
MSPQ	Ministère de la Sécurité publique du Québec / <i>Quebec Ministry of Public Safety</i>
MVCA	<i>Mississippi Valley Conservation Authority</i>
NASA	<i>US National Aeronautics and Space Administration</i>
NFP	<i>National Flood Protection</i>
NMIC	<i>Nationwide Mutual Insurance Company</i>
OMH	Ministère du Logement / <i>Ontario Ministry of Housing</i>
OMMA	Ministère des Affaires municipales / <i>Ontario Ministry of Municipal Affairs</i>
OMNRF	Ministère des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario
PPRLPI	Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables
RVCA	<i>Rideau Valley Conservation Authority</i>
SMC	Service Météorologique du Canada
SNVC	<i>South Nation Valley Conservation</i>
TRCA	<i>Toronto and Region Conservation Authority</i>
UTRCA	<i>Upper Thames River Conservation Authority</i>

LEXIQUE

Adaptations structurelles	Modifications physiques aux bâtiments et structures humaines pour les protéger d'une hausse des niveaux d'eau. (National Flood Prevention, 2017)
Anticyclone	Système atmosphérique de haute pression. Les vents le contournent dans le sens horaire. Ce système amène du beau temps. (A. Viau, Notes de cours GEG 2704, 29 janvier 2014)
Anthropique	Toute forme provoquée directement ou indirectement par l'action humaine. (RecyConsult, 2010)
Aquifère	Une formation géologique qui peut emmagasiner et permettre la circulation de grandes quantités d'eau. (M. J. L. Robin, Notes de cours GEO 3742 : Hydrogéologie, 4 septembre 2014)
Argile à Léda	Argile glaciomarine déposée dans la mer de Champlain. Particules d'argile et de silts solidifiés autour de cristaux de sel qui ont le potentiel de se liquéfier s'ils sont perturbés de façon critique. (S. Dumas, Notes de cours GEO 1515 : Matériaux terrestres, 5 octobre 2012)
Barrage	Retiens une partie de l'eau d'un système riverain pour permettre l'écoulement contrôlé. (Ancil, 2015)
Canal de dérivation	Rivière artificielle qui contourne une région avec un barrage à l'entrée et à la sortie. Permet de contrôler le débit total d'une rivière dans la région détournée. (Jackson, s. d.)
Changement climatique	Lentes variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné, au cours du temps qui peuvent mener à des dommages importants. (RecyConsult, 2010)
Circulation méridionale	Oscillation sinusoïdale du Jet Stream qui apporte des variations de températures et de précipitations. Contraire de la circulation zonale. (Clifford et al., 2012)
Contamination	Résultat du passage d'une substance physique, chimique ou biologique qui élève la concentration locale de la substance. (Olivier, 2015)

Crue maximale	Limite de rétention d'eau dans le lit de la rivière secondaire selon les paramètres régionaux géographiques, météorologiques, hydrologiques et géologiques. (AquaPortail, 2017)
Dépression atmosphérique	Système atmosphérique de basse pression. Les vents le contournent dans le sens antihoraire. Généralement associé à la formation de nuage et de pluie. (A. Viau, Notes de cours GEG 2704, 29 janvier 2014)
Digue	Structure en terre surélevée qui délimite les deux côtés d'une rivière. Permet une hausse des niveaux d'eau sans inondation. (Jackson, s. d.)
Doline	Terme géologique pour une dépression ou un trou dans un terrain karstique constitué d'argiles décalcifiées. (Varrod, Morvan, Gérardin et Lucot-Sarir, 1995)
Dorsales	Région allongée d'une isobare où le vent contourne un anticyclone. (A. Viau, Notes de cours GEG 2704, 29 janvier 2014)
Écosystème	Système formé par l'ensemble des populations d'organismes qui créent une communauté et l'environnement physique ou le territoire dans lequel ils interagissent avec des éléments naturels. (AquaPortail, 2017)
Effet orographique	Précipitation causée par l'ascension d'air humide au-dessus d'une barrière orographique. Cette dernière est un relief terrestre en hauteur tel qu'une montagne ou une colline haute. (AquaPortail, 2017)
Érosion	Destruction de la surface d'un matériel minéral ou autre résultant de l'action de l'eau, des vents, de la glace ou d'un produit chimique qui provoque l'enlèvement des couches supérieures des sols. (AquaPortail, 2017)
Frange capillaire	Zone saturée en eau au-dessus de l'aquifère qui peut faire des échanges avec les procédés de surface. (M. J. L. Robin, Notes de cours GEO 3742 : Hydrogéologie, 4 septembre 2014)
Glissement de terrain	Phénomène de descente d'une masse de terre sur une pente, sur un plan de glissement qui peut être à l'origine de catastrophes naturelles engendrant des morts, notamment suite à de fortes pluies. La déforestation peut être à l'origine de cette catastrophe naturelle. (RecyConsult, 2010)

Impact environnemental	Toute modification de l'environnement, négatif ou bénéfique, résultant totalement ou partiellement des activités, produits ou services d'un organisme. (RecyConsult, 2010)
Inondation	Débordement temporaire d'eau sur des terres qui ne sont généralement pas submergées. Ces terres doivent être adjacentes à un ruisseau, une rivière, un lac, ou un océan. (MVCA et al., 2006)
Isobares	Lignes de contour qui relient les pressions similaires dans l'espace (A. Viau, Notes de cours GEG 2704, 29 janvier 2014)
Levé	Structure de terre surélevée qui délimite une seule rive d'une rivière. Forme généralement un mur de rétention qui empêche les eaux de l'océan ou d'un grand réservoir d'eau de remonter sur le continent. (Jackson, s. d.)
Méandre	Un pli sinueux ou un détour, dans le trajet naturel d'écoulement de l'eau d'un cours d'eau, formant une circonvolution avec une sinuosité prononcée. (AquaPortail, 2017)
Mer de Champlain	Entrée d'eau salée sur le continent pendant la fonte des glaciers continentaux du dernier maximum glaciaire (15 000 ans). (S. Dumas, Notes de cours GEO 1515 : Matériaux terrestres, 5 octobre 2012)
Nappe libre	Le dessus de la zone d'un aquifère saturée en eau. La pression est moindre au-delà de ce point, car l'eau et l'air sont combinés dans les pores de la roche ou du sédiment. (M. J. L. Robin, Notes de cours GEO 3742 : Hydrogéologie, 4 septembre 2014)
Nappe phréatique	Formation rocheuse souterraine saturée en eau. L'eau est extraite pour alimenter les résidents. (M. J. L. Robin, Notes de cours GEO 3742 : Hydrogéologie, 4 septembre 2014)
Oscillation sinusoïdale	Trajet d'une ligne selon une ondulation qui ressemble à une vague. (A. Viau, Notes de cours GEG 2704, 29 janvier 2014)
Plaine inondable	Une bande de terre le long d'un ruisseau, d'une rivière ou d'un lac qui se fait recouvrir d'eau lors d'une inondation (MVCA et al., 2006). Endroits à proximité d'une rivière ou d'un lac qui se fait inonder de façon périodique (Fortin et Poulain, 2013).

Prévention	Processus de réduction de la probabilité ou de diminution de l'occurrence d'un scénario néfaste par la mise en œuvre de mesures qui réduisent le risque à un niveau acceptable (Conseil de réduction des accidents industriels majeurs [CRAIM], 2017)
Récurrence de 100 ans	Un niveau d'eau estimé selon les records historiques. Il correspond à une chance sur 100 de l'atteindre tous les ans. Il est possible de l'éviter pour des centaines d'années tout comme il peut être atteint à plusieurs reprises dans la période de 100 ans. (MVCA et al., 2006)
Redressement du chenal	Action de rendre droit le lit d'une rivière. (Jackson, s. d.)
Régime naturel	Écoulement des eaux selon son régime sans l'intervention humaine. (MVCA et al., 2006)
Riparien	Région entre le milieu aquatique et le milieu terrestre. Elle est généralement avant la plaine inondable. (Jackson, s. d.)
Risque résiduel	Les risques présents même après la mise en place de mesures de prévention. Il est impossible d'éliminer tout risque. (CRAIM, 2017)
Rivière source	Rivière de taille variable qui alimente en eau et en nutriments une deuxième rivière plus grande. (B. Lauriol, Notes de cours GEG 3502 : Hydrologie, 2 février 2016)
Ruissellement total	Écoulement de l'eau sur la surface du sol quand le taux de pluie excède la capacité d'infiltration du sol. (M. J. L. Robin, Notes de cours GEO 3742 : Hydrogéologie, 4 septembre 2014)
Soupape antiretour	Mécanisme autorisant le passage d'un fluide, liquide ou gaz sous pression, dans un sens unique. Il interdit le retour de ce fluide (ou autre substance) dans l'autre sens. (AquaPortail, 2017)
Système riverain	L'interface entre les systèmes aquatiques et terrestres dominés par des rivières plutôt que des lacs. (Morissette et Donnelly, 2009)
Talwegs	Région allongée d'une isobare où le vent contourne une dépression. (A. Viau, Notes de cours GEG 2704, 29 janvier 2014)

INTRODUCTION

Les inondations sont des phénomènes naturels qui se produisent dans toutes les régions du monde. À certains endroits, elles amènent de l'eau aux régions desséchées qui profitent de l'événement. Quand le même événement se produit dans un milieu habité, les résultats sont plus défavorables. Au Canada, la majorité des grands milieux urbains ont été construits à proximité de l'eau, qui servait comme moyen de transport principal au début de la colonisation. La région d'Ottawa et de Gatineau a suivi ce modèle. Dès le début du 20^e siècle, les grands barrages ont réussi à contrôler les inondations et ont créé un faux sentiment de sécurité dans la communauté. C'est également autour de cette période que les services de météo ont commencé à compiler des données numériques pour mieux comprendre le système climatique et ses répercussions dans les niveaux d'eaux des rivières. En 1950, les citoyens avaient presque oublié les effets potentiels d'une inondation de la rivière des Outaouais. Les municipalités ont donc trouvé une méthode pour profiter de cette absence d'inondations en vendant des terres de la couronne située le long des plaines inondables dans les deux villes. Les nouveaux propriétaires, emballés à l'idée d'habiter aussi près de l'eau, ont alors construit de grandes maisons le plus près possible de l'eau. (Mississippi Valley Conservation Authority [MVCA] et al., 2006)

Depuis, le climat se modifie en créant de nouvelles conditions imprévisibles. Progressivement, plus de grandes tempêtes s'élèvent à des endroits n'ayant jamais connu, dans l'histoire documentée, de telles conditions auparavant (Dauncey, 2009). De plus, ces déversements pluviaux endommagent les maisons non conçues de façon à éviter les eaux. Maintenant, ce sont les municipalités qui tentent de protéger les personnes et leurs biens situés dans la plaine inondable. Puisque les conséquences sont plus nombreuses en région urbaine, là où la population est la plus dense, des barrages en amont, sont opérées de sorte à limiter la sévérité et les impacts des inondations sur les villes. Les répercussions sont alors ressenties dans la communauté rurale là où le barrage est situé plutôt que dans la métropole. (MVCA et al., 2006)

Au printemps 2017, la vallée de l'Outaouais a subi une inondation de longue durée très différente de toutes celles documentées dans le passé. Le volume d'eau précipité a surpassé les capacités de rétention des barrages, plus de 750 maisons ont dû être évacuées dans les villes d'Ottawa et Gatineau (Cuddington, 2017, 9 mai). Dans les communautés environnantes, sacrifiées pour aider la ville, les effets d'inondation subits ont été encore plus accablants. Ce type d'inondation devient progressivement plus commun et les effets néfastes qu'elles entraînent s'accumulent. Des solutions doivent donc être élaborées afin d'offrir une protection adéquate aux citoyens, tant dans la ville que dans les communautés adjacentes.

Pour ce faire, les inondations doivent d'abord être bien comprises. Les causes peuvent varier, mais les effets sont toujours comparables. Les inondations survenues au printemps 2017 sont de bons exemples

pour établir la situation actuelle dans les deux villes. Cet événement permet de tirer de nombreuses conclusions sur les stratégies de gestion des eaux actuelles en plus des conséquences secondaires qu'elles peuvent entraîner. Entre autres, ces effets sont quantifiables pour l'intégrité des écosystèmes riverains ainsi que pour la qualité de l'eau et des procédés naturels et anthropiques qui en ont besoin. Ils peuvent aussi amplifier les risques de glissements de terrain, notamment par l'augmentation des propriétés érosives de l'eau. La notion d'inondation comprise auparavant doit aujourd'hui prendre en compte l'altération des cycles naturels causés par les changements climatiques et doit être intégrée dans la préparation et la mise à jour de cartes illustrant les plaines inondables.

Une fois la réalité régionale comprise, des solutions peuvent être anticipées. Un total de sept méthodes d'adaptations ont été répertoriées au pays. Ce sont : les barrages, les digues et levées, le canal de dérivation, le redressement du chenal, les adaptations structurelles, l'évacuation de la plaine inondable et la restauration de milieux naturels. Indépendamment, tous peuvent être des bonnes solutions pour gérer les eaux d'inondation, mais l'analyse multicritère a permis de déterminer lesquelles sont des solutions idéales, applicables à la région d'Ottawa et de Gatineau.

Pour ce faire, une douzaine de critères d'évaluation ont été identifiés pour évaluer tous les aspects de l'application des solutions proposées dans la région. Les solutions doivent pouvoir être mises en place tant à Gatineau qu'Ottawa. Dans certains cas, une coopération entre les deux côtés de la rivière est requise afin de mettre en place ces solutions. Les conséquences doivent être minimales pour les petites municipalités en amont ainsi que la grande région métropolitaine de Montréal située en aval. Bien entendu, chaque solution doit rectifier le problème des inondations sans causer des résultats défavorables aux autres aspects de la vie régionale. Les villes doivent pouvoir financer les solutions contre les inondations qui sont également acceptables lors des années sans inondations et même en périodes de sécheresse. Plusieurs solutions peuvent également créer des effets néfastes pour l'écologie régionale, la qualité de l'eau dans la rivière et la stabilité des sols. Pour ces raisons, l'opinion publique est à considérer. Finalement, chaque solution doit résister aux hivers canadiens difficiles et être adaptée aux variations climatiques qui surviendront à la suite des changements climatiques.

Dans l'analyse multicritère, chaque solution proposée est évaluée de façon indépendante sur une échelle de très bon à très mauvais. Une quantification numérique est alors présentée sur une échelle de -2 à 2 qui est par la suite multipliée aux pondérations, qui identifient les facteurs les plus importants. Ces critères d'évaluations permettent de définir un ordre de priorités pour la mise en place des solutions. Les meilleures solutions sont déterminées et une série de recommandations est établie pour aider à les mettre en place. Les solutions moins adaptées à la région peuvent néanmoins servir dans d'autres régions géographiques. Le tout est effectué avec des recours à des sources fiables, reconnues et pertinentes.

1. MISE EN CONTEXTE

Les inondations sont le résultat du débordement d'une rivière dans sa plaine inondable (MVCA et al., 2006). C'est un phénomène naturel produit par la présence d'un excédent d'eau dans le système. Au Canada, elles résultent plus fréquemment au printemps lors de la fonte des glaces. Par ailleurs, d'autres événements météorologiques peuvent amener suffisamment d'eau pour causer une inondation. De grandes tempêtes entraînent des pluies diluviennes, comme un ouragan ou une masse d'air très instable qui rencontre un obstacle (Service Météorologique du Canada [SMC] et Environnement et Changements climatiques Canada [ECCC], 2011), peuvent rapidement inonder une région. La succession d'événements pluviaux sur quelques jours peut également amener un surplus d'eau qui excède les niveaux de captage du bassin versant. En effet, un bassin versant permet seulement à une quantité maximale fixe d'eau de s'infiltrer dans les sols et aquifères. Les débordements débutent quand le sol est sursaturé et les pluies continuent de façon à dépasser sa capacité d'infiltration. (Anctil, 2015)

La région de la capitale nationale se trouve dans une situation particulière. Elle se retrouve à la limite entre les provinces du Québec et de l'Ontario et est le lieu principal des autorités fédérales. Les deux villes qui caractérisent la vallée de l'Outaouais, soit Ottawa et Gatineau, ont été construites en bordure de la rivière des Outaouais. C'est une rivière majeure qui draine plusieurs lacs de la région de Témiscamingue jusqu'à son embouchure dans le fleuve Saint-Laurent près de Montréal. La totalité du bassin versant recouvre un territoire de 146 300 km² avec 30 grands réservoirs pour la rétention d'eau et 1 130 km de rivière. (Ottawa River Planning Board, 2011) Le territoire en entier peut être défini selon les limites observées à la figure 1.1 ci-dessous.



Figure 1.1 Limites du bassin versant de la rivière des Outaouais (a) et la frontière politique qui divise la région (b). Un point rouge situe les villes d'Ottawa et de Gatineau (tiré de : Ottawa River Planning Board, 2011)

La région est particulièrement sensible aux inondations. Gérer le débit de tant de rivières sources est très difficile puisqu'elles sont largement susceptibles aux fluctuations du climat. Pour contrôler le niveau des eaux dans la ville, les débits doivent être administrés en amont, mais les parties intéressées à cette gestion arrivent rarement à s'entendre. En plus, la capitale nationale est située dans une plaine entre les collines de Gatineau et la chaîne montagneuse des Madawaska, près de la limite nord de la vallée des Grands Lacs. Dans cette région, les vents dominants de l'ouest poussent l'humidité atmosphérique des Grands Lacs à travers la vallée. Une quantité surabondante d'eau est alors présente dans l'air avant qu'elle se rende aux collines de la Gatineau et aux aires sèches et froides qui surviennent du nord. Ces montagnes forment une petite barrière orographique qui favorise la tombée de pluies dans la région (AquaPortail, 2017).

Depuis quelques années, les inondations deviennent progressivement plus communes et de plus grande envergure. Les régions affectées voient des inondations de récurrence de 100 ans ou plus se produire à plusieurs reprises dans une même décennie, voir la même année (Dauncey, 2009). Ces événements remarquables doivent être considérés dans la planification urbaine de la ville et dans les activités qui s'y déroulent.

Les changements climatiques amènent plus d'inondations par endroits et des modifications aux régimes naturels des précipitations. Un de ces phénomènes propres à l'hémisphère nord est la circulation méridionale, plutôt que zonale, du courant Jet polaire. Souvent, ce phénomène est initié par des températures surélevées par rapport à la norme dans la haute atmosphère. C'est une oscillation sinusoïdale du courant d'air autour des anticyclones et des dépressions atmosphériques, qui ralentit la vitesse à laquelle l'air se déplace. La circulation méridionale peut causer des blocages dans la propagation des talwegs et dorsales si plus de sept oscillations sont présentes dans le système à un moment donné. (A. Viau, notes de cours GEG 2704 : Climatologie, 5 février 2014) Le système de basse pression entraîne des pluies et éventuellement des inondations si le système ne se déplace pas (Clifford, French et Valentine, 2012). C'est ce qui s'est produit pendant trois semaines en février 2014 où la région a reçu des températures froides et sèches des courants d'air arctiques, et encore en mai 2017.

2. LES INONDATIONS EN CENTRES URBAINS

En situation d'inondation, la priorité des services d'urgence est de protéger les habitants de la région et leurs biens. Lorsqu'un endroit abrite une population plus dense que celle de ses environs, les efforts sont concentrés dans celui-ci, parfois au détriment des communautés adjacentes (MVCA et al., 2006). Ce sont également des endroits où les plaines inondables et les bandes riveraines sont les plus altérées de façon anthropique. Une inondation a donc un effet très négatif sur les activités humaines de la région.

Au tournant du 20^e siècle, des barrages ont été introduits en grand nombre dans le but de régulariser les débits tout au long de l'année et d'utiliser l'énergie constante de l'eau pour des besoins humains. Ils ont été construits à proximité des centres urbains, car la demande énergétique est plus élevée dans ces régions (Fortin et Poulain, 2013). Leur structure a également permis de garder les niveaux d'eau relativement constants tout au long de l'année. Alors, depuis les années 1950, les terres en bordure des lacs et rivières se font vendre à des propriétaires privés qui bâtissent leurs maisons sur les plaines inondables. Les municipalités et les groupes de protection des eaux adjacentes doivent collaborer pour protéger ces habitants (MVCA et al., 2006).

Depuis de nombreuses années, les municipalités établissent des règlements de zonage qui permettent la construction en zone inondable. Puisque ce sont les pouvoirs fédéraux et provinciaux qui payent les coûts de relocalisation ou de reconstruction, les municipalités ne perdent rien et obtiennent des impôts surélevés sur les propriétés à proximité de l'eau. Avoir des habitants sur la plaine inondable devient alors un avantage pour les municipalités, puisqu'elles reçoivent de l'aide en période de crise, sans subir les conséquences économiques pour la mauvaise gestion du territoire (Zimonjic, Roman et Simpson, 2017, 9 mai). Même à la suite d'une grande inondation, plusieurs des habitants des zones inondables ne veulent pas se relocaliser et réussissent à obtenir le droit de rebâtir sur une propriété qui leur appartient déjà (Ireton, 2017, 14 mai).

Puisque tellement de personnes dans une région urbaine sont affectées par la montée du niveau des eaux, le ministère des Ressources naturelles possède l'autorité nécessaire pour demander à tous les opérateurs de barrages de retenir de l'eau. Ceci se fait à la recommandation des services d'urgences (MVCA et al., 2006). Le but de ces actions est de permettre l'écoulement à la sortie de la ville sans laisser entrer plus d'eau.

Un autre problème souvent rencontré en région urbaine est la quantité de surfaces imperméables. L'abondance de béton et de surfaces pavées empêche l'infiltration dans le sol et la recharge des aquifères (ECCC, 2013). Éventuellement, l'usage de l'eau dans des puits artésiens en banlieue entraîne de nombreux problèmes pour les villes et limite leur protection contre les inondations. Puisque la colonne

d'eau baisse, les milieux humides de la région s'assèchent et perdent leurs fonctions. Ce sont des endroits qui pourraient offrir une certaine quantité de protection s'ils étaient en état fonctionnel. De plus, la surutilisation des eaux souterraines peut entraîner un affaissement des roches en surface. À cause de cela, dans plusieurs cas internationaux des villes s'enfoncent plus près du niveau marin, la plaine inondable s'agrandit et des problèmes structuraux connexes se développent. Certains exemples bien connus sont Venise, la ville de Mexico, Bangkok et Shanghai. Dans d'autres situations, des événements catastrophiques comme la formation de dolines peuvent se produire ce qui cause la compaction instantanée du sol et une perte totale de sa porosité. (Fortin et Poulain, 2013) C'est ce qui s'est déroulé au centre-ville d'Ottawa le 8 juin 2016 (Pearson, 2016, 9 juin).

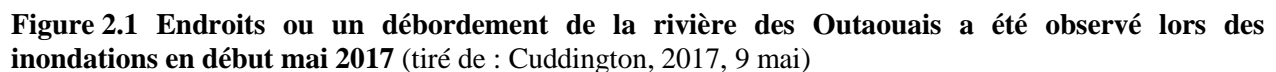
Dans le cas du grand centre urbain de la capitale nationale, des problématiques supplémentaires sont apparentes. Elle est composée de deux grandes villes bâties dans deux provinces, sur un territoire occupé par le gouvernement fédéral. Les deux municipalités partagent plusieurs infrastructures et les milieux de travail sont destinés aux habitants des deux côtés de la rivière. Puisque les villes collaborent sur plusieurs éléments de la vie quotidienne, elles doivent avoir des politiques et schémas d'aménagements comparables. Si jamais l'accès aux terrains en zones inondables est limité dans une des deux villes de la région, les citoyens qui veulent vivre en bordure de l'eau n'ont qu'à déménager de l'autre côté de la rivière.

En situation d'inondation, ce n'est pas seulement les habitants de la plaine inondable qui sont affectés. Toutes les personnes qui doivent traverser la rivière dans une direction ou l'autre, pour se rendre au travail, à l'université ou à des rendez-vous quelconques, doivent contourner les fermetures de routes et naviguer autour des problèmes de circulation. La meilleure façon de comprendre toute la complexité de ces situations est de détailler les événements de l'inondation la plus récente.

2.1 Les événements récents

L'été 2016 était une année de sécheresse. La région d'Ottawa a reçu un minimum record de pluie et plusieurs des petits cours d'eau dans le système du bassin versant se sont asséchés. Les premières prévisions pour la saison des inondations printanières estimée en janvier 2017 étaient d'avoir suffisamment de neige pour remplir les cours d'eau et la nappe phréatique. En début avril, la première série d'inondations s'est produite amenant des crues printanières de fréquence de quatre ans. Les pluies subséquentes ont réussi à monter les niveaux d'eau dans la rivière des Outaouais par un total de 56 cm au-dessus des niveaux habituels, aboutissant à une crue maximale de 30 ans avant de baisser. Certaines routes en plaine inondable ont été recouvertes de près de 45 cm d'eau et le débit de la rivière a atteint 450 m³/s alors que la moyenne est de 320 m³/s en période de crues printanières. Cette première inondation a permis

Suivant la retombée des niveaux d'eau, les lacs et rivières des sous-bassins versants se font tranquillement vider de leur excédent d'eau de fonte une fois les inondations printanières terminées (MVCA et al., 2006). Cet excès d'eau traversait alors le bassin versant en début mai, au même moment que les événements pluviaux ont commencé. La région a reçu 135 mm de pluie en dix jours, toutes réparties sur la totalité des sous-bassins versants de la région (RVCA, 2017 ; South Nation Valley Conservation [SNVC], 2017b ; Ville de Gatineau, 2017b). À compter du 4 mai, les autorités ont dû commencer à ouvrir les barrages qui débordaient pour éviter des situations catastrophiques causées par des bris. Les routes d'accès à plusieurs quartiers des deux villes ont été submergées (RVCA, 2017). Le 7 mai, les pluies ont cessé, mais ce n'est que le 9 mai que les niveaux d'eau se sont stabilisés et ont commencé à baisser (SNVC, 2017b). Entre temps, plusieurs portions de la rivière ont dépassé les crues maximales de 100 ans et les débits à la sortie de la région urbaine ont atteint un maximum de 8850 m³/s ; le maximum précédent était de 5500 m³/s (Cuddington, 2017, 9 mai). L'étendue totale des inondations dans les deux villes peut être observée à la figure 2.1.



Les impacts sont quantifiables pour les personnes, les entreprises, la sécurité civile, les écoles, etc. Plusieurs routes ont été fermées dont certaines routes principales soit les autoroutes 174 et 50 (Fraser, 2017, 9 mai). Des segments au centre-ville ont dû être déviés ou bloqués et tous les fonctionnaires qui doivent traverser les ponts interprovinciaux se sont fait demander de rester chez eux afin de libérer les routes aux services d'urgences. Au total, 753 maisons ont été évacuées dont 443 à Gatineau et 310 à Ottawa (Cuddington, 2017, 9 mai). En plus, près de 400 maisons ont subi des pannes électriques et plus de 700 000 sacs de sable ont été remplis et distribués dans les deux villes (Fraser, 2017, 9 mai). Les forces armées ont été appelées pour aider (Harris, 2017, 9 mai) et les municipalités ont tout fait pour aider à contrôler la crise. Les autobus étaient gratuits pour limiter la circulation routière et les écoles et universités fermées à tous ceux qui doivent traverser les ponts. Les hôpitaux ont même annulé toutes les interventions électives pour aider avec les urgences de l'inondation. (*Cross the Ottawa River to get to work? Stay home*, 2017, 8 mai)

La structure des ponts est censée résister aux eaux, même si ceux-ci ne sont pas construits suffisamment haut pour permettre à un tel volume d'eau de s'écouler en dessous sans le toucher (*Cross the Ottawa River to get to work? Stay home*, 2017, 8 mai). Dans la zone inondée, plusieurs routes se sont, à la fois submerger et détruire par les eaux de plus d'un mètre qui les recouvre et les pompes de puisard cessent de fonctionner suite à leur utilisation sans arrêt (Skura, 2017, 12 mai). En cette seule semaine d'inondations, la ville d'Ottawa a rejeté 600 millions de litres d'eau d'égout dans la rivière; une quantité comparable est venue de Gatineau (*Ottawa River full of untreated sewage during May flooding*, 2017, 10 mai). Tous les puits ont dû être vérifiés dans la ville ainsi toutes les régions en aval qui utilise la rivière comme source d'eau potable. La rétention des eaux déclenche également d'autres problèmes dans le système. Les hauts débits causent une forte érosion des berges (SNVC, 2015) et un total de six glissements de terrain se sont produits dans cette période d'inondations (SNVC, 2017a).

Dans les semaines suivantes, les niveaux d'eau se sont stabilisés et ont commencé à baisser lentement malgré des précipitations toujours fréquentes. Les eaux ont été retenues en amont de la ville, dans les lacs et villages inondés, dans la mesure du possible pour permettre aux évacués de rentrer chez eux (RVCA, 2017). Ce n'est qu'en début juin que les eaux ont commencé à baisser vers des niveaux normaux et que la navigation dans les rivières et le canal Rideau a pu commencer pour l'été 2017. Malgré ce fait, le volume d'eau est demeuré surélevé tout l'été.

Les niveaux d'eau sont demeurés élevés, mais hors de danger d'inondation longtemps même si les pluies ont continué à présenter des risques tout au long de l'été. À la mi-juillet, la région avait déjà dépassé les moyennes mensuelles et le débit dans toutes les rivières demeurait élevé. Les sols étaient encore sursaturés en eau quand l'est d'Ottawa a reçu jusqu'à 123 mm de pluie en une journée, soit le 24 juillet. C'était une

hausse subite qui a débordé les crues de récurrence de 100 ans. Les dégâts causés par cette troisième inondation ont pris plus d'une semaine à nettoyer, car les rivières débordaient avant l'apport additionnel en eau. (RVCA, 2017) La dernière grosse inondation subite de ce genre dans la région a été le 24 juin 2011 lorsque la ville de Gatineau a dépassé les crues de 150 ans en moins de 48 h (SMC et ECCC, 2011).

Finalement, les précipitations se sont calmées en août et les organisations de gestion du territoire et des cours d'eau ont pu commencer à évaluer la totalité des dommages et planifier pour le futur. Plusieurs sentiers pédestres et attractions touristiques vont demeurer fermés du moins jusqu'au printemps 2018 afin d'effectuer les réparations nécessaires en réponse aux inondations (Commission de la capitale nationale [CCN], s. d.). En un peu plus de six mois, la région d'Ottawa a reçu près de 800 mm de pluie, suffisamment de pluie pour dépasser la moyenne annuelle de 758,2 mm (McCooey, 2017, 26 juillet). C'est en réponse à cet été que le Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT) (2017a) a interdit la reconstruction en crue d'inondation de récurrence de 20 ans partout au Québec. À compter du 24 mai (*Some Gatineau homeowners in flood zone will not be allowed to rebuild*, 2017, 24 mai), le maire de Gatineau était en accord avec cette décision, mais le 7 juillet, il a fait une demande au ministère pour créer des exceptions supplémentaires suite à la requête des citoyens (Pedneaud-Jobin, 2017, 7 juillet).

Le 30 octobre 2017, une autre grande inondation a soudainement frappé la région quand 100 mm de pluie sont tombés en 38 heures. Au total, 48 personnes ont évacué leur logement, 295 maisons ont rapporté des refoulements d'égouts et 9 500 édifices ont subi des pannes électriques (*Pluies diluviennes à Gatineau*, 2017, 30 octobre). Également, deux glissements de terrain ont eu lieu dans la région et menée à une demande d'aide fédérale par moyen d'une déclaration d'une autre situation d'urgence (Gillis, 2017, 30 octobre). À cette date, la capitale a dépassé son record précédent quant à la quantité maximale de précipitations tombées en une année avec un total de 1 212 mm d'eau, et ce, deux mois avant la fin de l'année (Olivier, 2017, 30 octobre). Dorénavant, des changements sont nécessaires dans l'aménagement du territoire et les moyens de gestion des eaux d'inondations pour éviter une répétition des événements de cet été.

2.1.1 Mesures de préventions

Présentement, les mesures en cas d'inondations sont différentes d'un côté de la rivière à l'autre. Les deux villes se fient sur la gestion des barrages et le régime d'évacuation des eaux pour contrôler les inondations et ont la permission de demander la rétention de quantités significatives d'eau en amont pour éviter l'évacuation des citoyens. Les deux villes sont déjà bien équipées pour gérer les inondations, comparées à d'autres régions urbaines canadiennes. Tous les printemps, la communauté brise la glace sur la rivière des Outaouais pour aider à l'élimination des eaux. Le système routier est élevé et des fossés profonds et biens

drainés sont présents en bordure pour éviter qu'il soit submergé. Le système d'égouts se fait régulièrement nettoyer pour réduire les blocages et les débordements. Les cartes de plaines inondables sont relativement bien mises à jour comparativement aux autres régions de l'Ontario et du Québec (Spears, 2015, 21 mai). Malgré tous ces systèmes d'évitement, les inondations se produisent encore régulièrement.

En 2014, la ville de Gatineau a investi deux millions de dollars pour améliorer les infrastructures dans un quartier le long de la rivière Gatineau. Ces infrastructures incluent le système de barrages et le redressement de la bande riveraine. La nécessité de cette mise à jour a été déterminée par l'analyse des cinq grandes inondations qui se sont produites dans les 20 ans précédents. Cet investissement était censé limiter les risques d'inondations futures en aidant à l'écoulement des eaux le long de la rivière. (St-Pierre, 2014, 3 avril) En vue des effets observés lors de l'inondation du printemps 2017, le projet n'a pas fonctionné aussi bien que désiré.

Les lois actuelles exigent qu'aucune structure ne puisse être construite dans la crue de récurrence de 20 ans et qu'aucune ouverture, soit des fenêtres ou des portes, ne soit présente dans la crue de 100 ans (MAMOT, 2017b). Les exigences indiquent également de bâtir sans sous-sols ou d'élever le fond de terrain pour que la maison soit située au-delà de la crue de 100 ans (Ireton, 2017, 14 mai). Malgré ces obligations légales, toute construction bâtie avant leur entrée en vigueur possède des droits acquis qui leur permettent d'habiter dans la plaine inondable. Au Québec, le gouvernement provincial vient tout juste de passer une nouvelle exigence qui interdit la reconstruction dans les crues de 20 ans pour aider à libérer les plaines inondables (MAMOT, 2017a). Cette obligation (Figure 2.2 de la page suivante) tente de mieux faire respecter les indications de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI) par l'offre d'une compensation de 250 000 \$ aux propriétaires pour se relocaliser (*Some Gatineau homeowners in flood zone will not be allowed to rebuild*, 2017, 24 mai). Le prix moyen d'une maison situé près de l'eau dans le centre-ville dépasse un million de dollars (Ottawa Property Shop Realty Inc. Brokerage, 2017) et plusieurs ne savent pas qu'ils sont localisés en plaine inondable. Aucune loi n'exige cette divulgation de la part du notaire ou de la municipalité en situation de vente. Les propriétaires font donc leur possible pour préserver la valeur de l'investissement.

Présentement, les méthodes de prévention des inondations dans la région sont fortement dépendantes de la gestion des débits et de l'opération des barrages (Conservation Ontario [CO], 2013b). À Ottawa, c'est la responsabilité des trois autorités de la conservation qui agissent sur le territoire et fonctionnent à la place du Ministère des Richesses naturelles et des Forêts (OMNRF) provinciales (CO, 2013a). À Gatineau, l'Agence de bassin versant des 7 (ABV des 7) est responsable des niveaux d'eau et des interactions avec les opérations de barrages dans son territoire. À son tour, l'agence travaille en collaboration avec le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNFQ), en plus du ministère du Développement

durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (ABV des 7, 2014)

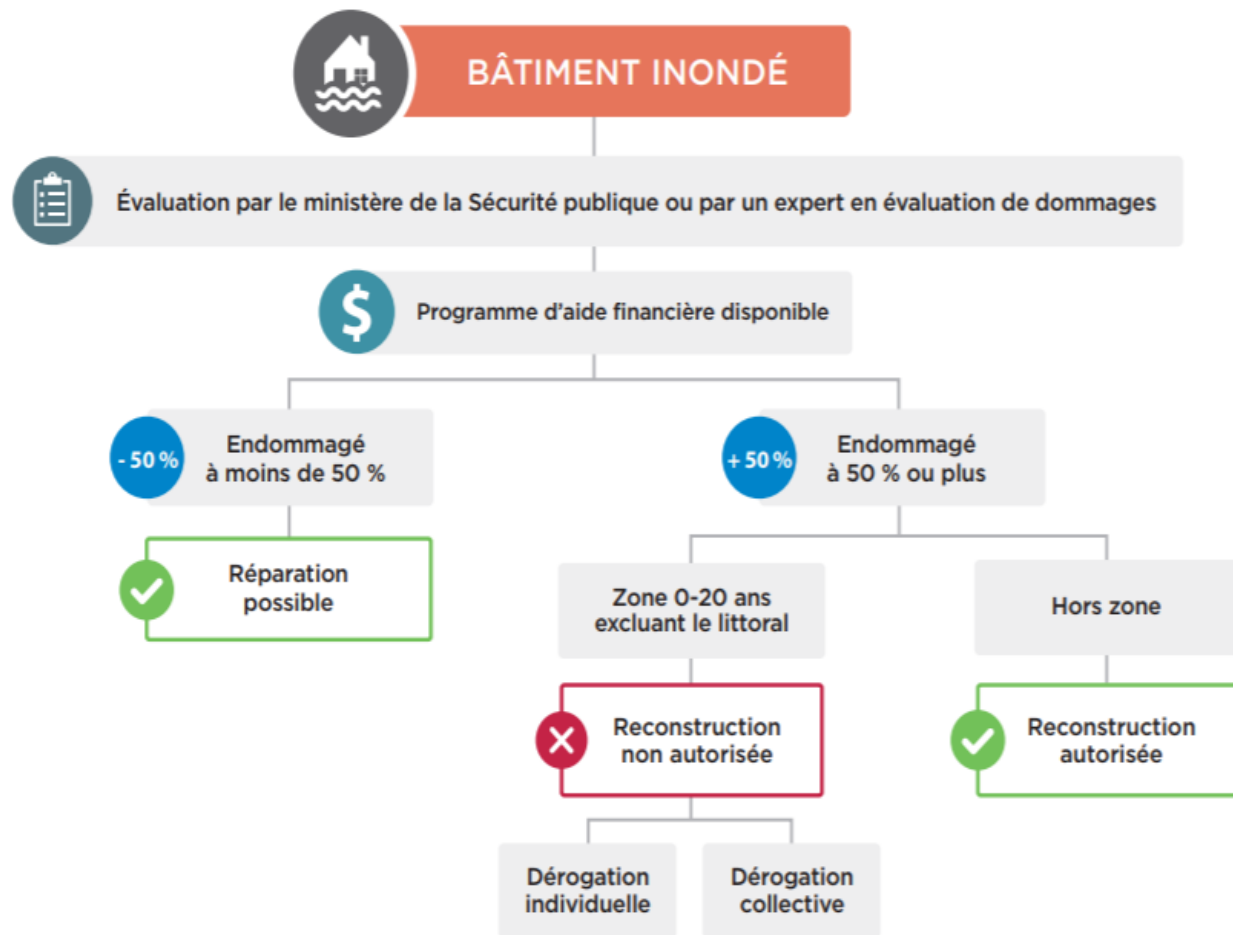


Figure 2.2 Schématisation du procédé d'application de la PPRLPI sans compter la possibilité d'exceptions (tiré de : MAMOT, 2017a)

Les rôles de tous ces acteurs sont similaires. En plus de protéger la faune présente dans les cours d'eau, ils sont tous responsables de : développer des cartes des plaines inondables de leurs bassins versants correspondants et de les garder à jour ; opérer les barrages et prédire les niveaux d'eau pour protéger les milieux urbains et d'aviser les municipalités pour les aider à créer des schémas d'aménagements appropriés quant au risque d'inondation (ABV des 7, 2014 ; CO, 2010). De façon générale, ils ont tous des cartes de plaines inondables qui ont près de 20 ans, car la mise à jour requiert de grandes subventions auxquelles ils n'ont que rarement accès (Pearson, 2007). Ils ont également le devoir de protéger le plus de personnes possible face au risque d'inondation en tout temps. Ceci favorise les régions où la densité est maximale, soit les milieux urbains, souvent au détriment des communautés rurales à proximité (MVCA et al., 2006). Quant à leur aptitude à faire des recommandations sur les schémas d'aménagements, ces suggestions sont considérées dans les villages et régions rurales, mais les communautés métropolitaines

prennent leurs conseils du ministère. Puisqu'aucune restriction légale n'existe et que la ville peut bénéficier des impôts fonciers élevés sur les propriétés en bordure de rivière, ils n'imposent pas de limites sur le développement (Zimonjic et al., 2017, 9 mai).

Plus de 50 grands barrages et près de 500 petits barrages sont présents dans le bassin versant des Outaouais. Ces barrages peuvent être utilisés pour retenir les eaux d'inondation (Ottawa Riverkeeper, 2017). La pratique mise en place permet aux lacs dans le système riverain de stocker plus de 14 milliards m³ d'eau en amont de la capitale (Ottawa River Planning Board, 2011). À condition de pouvoir déverser les excès d'eau, le circuit de barrage est très habile à éviter les inondations majeures. Par contre, si l'opportunité de vider le système ne se présente pas, un excès d'eau se met à déborder du barrage et peut causer des risques de bris (SNVC, 2017b) qui entraîneraient des inondations catastrophiques (Fortin et Poulain, 2013). Lorsque cette situation se produit, les agences responsables n'ont donc pas de choix autre que l'ouverture du barrage et une inondation en aval (RVCA, 2017).

2.1.2 Mesures à prendre en cas d'inondations

Une fois initiées, les seules procédures existantes sont les mesures d'urgence mises en place par la ville. Ces procédures incluent des sacs de sable, des messages réguliers quant à l'état de la situation diffusé sur tous les médias, de l'assistance fédérale, et dans certains cas, l'évacuation du logement (Ville de Gatineau, 2017b ; City of Ottawa, 2017b ; CO, 2012). Les plombiers, les électriciens et les professionnels de la santé aident également là où c'est possible. Ils travaillent plus qu'à temps plein pour faire fonctionner les pompes à puisards et éviter toutes les menaces à la santé humaine. (Canadian Red Cross, 2010)

Les recommandations les plus importantes lorsqu'une inondation débute sont les suivantes :

- Boucher tous les évier dans les anciennes constructions où la tuyauterie ne possède pas de soupapes antiretour pour empêcher que les eaux usées municipales débordent dans les logements. (Ville de Gatineau, 2017b)
- Débrancher tous les appareils électriques et fermer le circuit de toute pièce submergée sur le panneau de disjoncteurs électrique. (Nationwide Mutual Insurance Company [NMIC], 2017)
- Évacuer le bâtiment si nécessaire. C'est imprudent de demeurer dans une maison inondée. (Canadian Red Cross, 2010)
- Si le temps le permet, soulever tous les meubles. (City of Ottawa, 2017b)
- Les risques de crimes sont également plus élevés lorsque le quartier est vide, alors, verrouiller toutes les fenêtres et les portes. (NMIC, 2017)
- Ne pas boire ou utiliser l'eau du robinet. Les égouts débordent dans la rivière et les sols sont saturés alors un grand risque de contamination des puits est présent. (Canadian Red Cross, 2010)

Une fois les inondations terminées, prendre les précautions possibles.

- Si une génératrice a été utilisée, les chances d’empoisonnement au monoxyde de carbone sont élevées et doivent être vérifiées avant d’entrer dans le bâtiment. (City of Ottawa, 2017b)
- Les villes recommandent également de faire inspecter la stabilité structurelle de l’immeuble.
- L’eau peut endommager les circuits électriques alors l’approbation d’un électricien est nécessaire avant d’allumer les lumières ou le chauffage. (Ville de Gatineau, 2017b)
- L’eau est probablement contaminée alors, avant de boire l’eau, la qualité de l’eau dans le puits doit être vérifiée par un inspecteur. (City of Ottawa, 2017b)
- Tout ce qui est entré en contact avec l’eau doit être désinfecté ou jeté pour éliminer les bactéries et les moisissures qui pourraient poser un risque à la santé humaine. Ceci inclut les murs, les meubles, les aliments en conserve, le linge, les électroménagers et leurs composantes internes. (Canadian Red Cross, 2010)

Dans la plupart des cas, les dommages causés par une inondation ne sont pas couverts par les compagnies d’assurance. Les raisons principales pour ceci sont qu’évaluer correctement le risque d’inondation est impossible sans cartes des crues de récurrences mises à jour. Les berges étant en évolution constante, les cartes doivent donc être mises à jour régulièrement. Elles doivent également tenir compte de l’effet des changements climatiques sur l’emplacement de ces crues. Une autre raison pour laquelle l’assurance inondation n’est pas disponible vient du fait que les dommages peuvent être attribuables à une mauvaise gestion du territoire et/ou au non-respect des normes de construction. Finalement, tant que le gouvernement offre des Accords d’aide financière en cas de catastrophe (AAFCC) subventionnée par les impôts fédéraux, les citoyens n’ont aucune initiative pour payer l’assurance inondation ou déménager hors de la plaine inondable. (Insurance Bureau of Canada [IBC], 2015)

Puisque les compagnies d’assurance ont offert peu ou pas d’assistance lors de la période d’inondation de 2017, d’autres services sont venus en aide aux sinistrés. Le barreau de l’Outaouais a offert des services gratuits pendant la crise (Association des avocates et avocats en droit de la famille de l’Outaouais, 2017). Le ministère des Affaires municipales (OMMA) et le ministère du Logement (OMH) (2017) ont pris la responsabilité des demandes d’AAFCC en Ontario. Au Québec, c’est le ministère de la Sécurité publique (MSPQ) (2017) qui gère cette responsabilité. Toutes les années, les AAFCC couvrent près de 900 millions de dollars en dédommagement à la suite de désastres naturels. Récemment, 673 millions de dollars de cette somme sont dirigés vers les dommages causés par les inondations et ce montant augmente progressivement toutes les années depuis 2010. (Zimonjic et al., 2017, 9 mai)

Les AAFCC ne couvrent pas tous les dommages ou les frais rencontrés lors d'évacuation. Pour l'inondation de 2017, il a payé les 1730 membres des forces armées qui ont été nécessaires pour réduire les dommages et assurer la sécurité publique. Il permet également à la Croix-Rouge d'offrir des services d'urgence. (Harris, 2017, 9 mai) La somme peut aider à remplacer les appareils essentiels détruits et certains coûts de réparations, mais les luxes endommagés, ce qui inclut l'automobile, ne sont généralement pas couverts. Si la maison ne peut être restaurée, les AAFCC donnent des compensations financières pour une partie des coûts de relocalisation. (OMMA et OMH, 2017)

2.2 Impacts environnementaux secondaires

Les effets directs des inondations peuvent être quantifiés selon le nombre de personnes affectées. Ce sont les impacts observés et souvent, rien d'autre n'est d'intérêt. La faune et la flore sont adaptées à un régime naturel d'inondations et savent comment les gérer. Dès que l'humain s'installe et modifie le régime naturel des eaux, des conséquences se présentent et peuvent, dans certains cas, entraîner de pires répercussions que l'inondation elle-même. Ce sont ces effets secondaires qui ont le potentiel de causer le plus de dommages.

Les niveaux d'eau surélevés entrent en contact avec des substances autrement distinctes qui ont le potentiel de faire significativement diminuer la qualité de l'eau. De plus, les hauts débits ont une plus grande force érosive, surtout dans les portions de rivière où les bandes sont redressées par les activités anthropiques. Les espèces vivantes qui requièrent l'eau dans leur cycle de vie doivent également s'accommoder aux conditions anormales alors que les activités humaines modifient les procédés d'adaptation naturels.

2.2.1 Pollution et qualité de l'eau

La rivière des Outaouais n'est pas un cours d'eau très propre. Toutes les années, les plages sont fermées pendant quelques semaines à cause d'abondances de bactéries *E. coli* présentes dans l'eau (Ottawa Public Health, 2017). De façon générale, ces fermetures coïncident souvent avec les précipitations récentes qui entraînent des résidus terrestres dans la rivière. Ces résidus incluent des biens matériels en plus de lisiers et fumiers des activités agricoles ainsi que de matières comparables des autres domaines d'activités assujetties aux relevées des niveaux d'eau. La quantité surabondante de pluie et les inondations du printemps 2017 ont fait en sorte que les plages ont été fermées presque tout l'été (Laucius, 2017, 19 août).

Parmi les substances souvent amassées dans la rivière se retrouvent les débordements d'eaux usées de la ville et de tous les villages en amont (*Ottawa River full of untreated sewage during May flooding*, 2017, 10 mai). Les eaux municipales sont composées d'une combinaison de matières fécales, de matériaux en suspension, de produits chimiques et d'autres résidus d'usage domestique, commercial, industriel et

agricole. Elles sont également mélangées avec la collecte des eaux d'écoulement qui n'ont pas d'endroits où s'infiltrer. (Ottawa Riverkeeper, 2017) Aussi, plusieurs chalets, situés près des systèmes des lacs déversent leurs eaux directement dans la rivière. Les eaux sur terre ont la capacité d'amasser des substances lorsqu'elles s'écoulent dans les terrains privés et les sous-sols. Elles peuvent autant transporter le contenu de produits de lavage qu'une chaise de patio ou un quai mal ancré (RVCA, 2017).

Cette contamination des eaux de surfaces, lorsqu'elle s'étend dans la plaine inondable, a le potentiel de s'infiltrer dans la frange capillaire et polluer les puits de surface. C'est pour cette raison que la ville demande qu'un expert vérifie les eaux avant de l'utiliser pour tout usage domestique (Canadian Red Cross, 2010). L'apport en sédiments contaminés contribue également à la dégradation des habitats aquatiques et la diminution de la capacité de rétention d'oxygène dissous dans les eaux de surface. Cette eau, dont la qualité est inférieure à celle sans débordement des égouts, peut mener à la propagation de virus et de bactéries fécales. Elle transporte aussi des traces de métaux lourds, de chlorure, de pesticides et d'hydrocarbures. (Ottawa Riverkeeper, 2017)

En nature, le meilleur procédé pour nettoyer les eaux de surface contaminée est la présence de milieux humides capable de les capter et les retenir en place. En plus, ils offrent un certain niveau de protection contre les inondations, régularisent les débits à la décharge des eaux, et permettent la recharge rapide des aquifères. De plus, près de 90 % des espèces aquatiques ont besoin de ces milieux à un moment dans leur cycle de vie. Cette adaptation naturelle pourrait aider non seulement à régler les niveaux d'eau et les inondations, mais aussi à réduire la pollution de l'eau qui se produit simultanément. Par contre, la majorité des milieux humides à proximité des grands centres urbains ont été convertis pour l'agriculture ou le développement urbain soit par la construction de routes, de quartiers résidentiels ou d'industries (Ottawa Riverkeeper, 2017). La plupart des autres sont moins performants qu'ils ne l'étaient autrefois et sont assujettis au stress de l'affaissement de la nappe d'eau libre par la surutilisation des eaux souterraines dans le centre urbain (Fortin et Poulain, 2013).

2.2.2 Érosion

Un autre grand problème naturel lié aux inondations est l'augmentation de l'érosion des berges de rivières. Puisqu'une quantité surabondante d'eau est présente dans le système, elle s'écoule plus rapidement dans la rivière et se creuse un canal plus large pour pouvoir continuer son parcours. Cette vitesse d'écoulement crée de la friction supplémentaire sur les obstacles que rencontre l'eau. Les berges de la rivière deviennent instables et peuvent s'effondrer si les conditions se poursuivent suffisamment longtemps (SNVC, 2015). Si c'est le cas, tout ce qui se trouve au-dessus à ce moment peut également s'affaisser dans la rivière et se faire emporter par le courant. En situation d'inondations, ce sont les sentiers, les routes et les murs de constructions touchés par l'eau qui sont érodés. (RVCA, 2017; SNVC, 2017b)

Le parcours naturel d'une rivière est de se creuser un canal qui méandre à travers le paysage et qui se déplace dans le temps. Les régions urbaines se développent le long des rivières et les citoyens souhaitent à leurs tours que la rivière garde le même lit à partir de ce point. La meilleure solution pour limiter l'érosion des berges est de préserver une bande riveraine naturelle. Elle peut aider à contrôler les inondations, mais réduit l'accès à l'eau pour les activités récréatives. Les roches se font alors enlever et des murs de rétention sont installés avec des quais. Cette solution permet l'accès à l'eau, mais ne résout pas les problèmes d'érosion des berges et mène au réchauffement de l'eau. De plus, elle détruit l'habitat des espèces aquatiques et introduit des matériaux, contenant souvent des métaux lourds, dans la rivière. (Ottawa Riverkeeper, 2017)

Les risques liés à l'érosion sont amplifiés dans la vallée de l'Outaouais par les formations géologiques qui caractérisent la région. La fin du dernier maximum glaciaire et la mer de Champlain, soit une intrusion d'eau salée sur le continent, ont permis la formation d'argile à Léda dans la région (Figure 2.3). C'est une argile fragile déposée autour de particules de sel et solidifiées. Depuis, les particules se sont dissoutes, un phénomène attribué à l'infiltration d'eau sur des milliers d'années. Les roches sont alors instables et ont la capacité de se liquéfier si un cours d'eau l'érode au bon endroit. Le résultat est un glissement de terrain, un phénomène très commun dans la région. (S. Dumas, notes de cours GEO 1515 : Matériaux terrestres, 5 octobre 2012)



Figure 2.3 Étendue des gisements d'argile à Léda dans la vallée de la rivière des Outaouais et le risque de glissements de terrain qu'il crée dans la région (tiré de : ABV des 7, 2014)

Quand la région reçoit de grandes quantités de pluie, plus des minéraux de sel se font dissoudre et augmentent l'instabilité des sols. Les inondations causent l'augmentation du débit de la rivière, de l'érosion des berges et le risque d'atteindre le point sensible de la formation rocheuse. Une fois le processus de liquéfaction débuté, rien ne peut empêcher un glissement de se poursuivre et d'emporter tout

ce qui se trouve au-dessus. (S. Dumas, notes de cours GEO 1515 : Matériaux terrestres, 5 octobre 2012)
La matière entraînée bouche les rivières et apporte encore plus de particules en suspension qui contribue à diminuer la qualité de l'eau.

Si la région est altérée, le poids des bâtiments ainsi qu'un stress d'une force externe, autre que la pluie, peuvent causer le même effet. Le scénario le plus commun est la surutilisation des eaux souterraines qui cause l'affaiblissement du substrat rocheux puisqu'aucune recharge ne peut être effectuée sous du béton. Par la suite, un stress tel que de la construction souterraine peut initier une doline comme celle qui est survenue dans le centre-ville d'Ottawa en juin 2016 (Fortin et Poulain, 2013). Un petit glissement de terrain en région urbaine a causé une fuite de gaz, une panne de courant, le bris d'un aqueduc et la fermeture d'un des plus grands quartiers économiques de la ville, soit le marché By, et ce pour plusieurs semaines. (Pearson, 2016, 9 juin)

2.2.3 Déplacements des populations fauniques

Aussitôt que des impacts peuvent être observés sur les populations humaines, les espèces animales sont nécessairement assujetties à des conséquences. En forêt ou dans un espace non altéré, les animaux peuvent migrer vers un endroit plus élevé, mais en centre urbain leurs habitats sont déjà très limités. Une petite altération dans les niveaux d'eau au mauvais moment de l'année peut avoir des conséquences désastreuses sur leur cycle de vie.

De ce fait, les marmottes ont vu l'eau engouffrer leurs tunnels et ont dû se déplacer vers des habitats temporaires qui posent un risque à leur survie. Similairement, les barrages des castors ne sont pas bâtis pour résister à de si hauts débits alors ils se font emporter par le courant de sorte à laisser les castors exposés aux prédateurs et blessés par l'effort qu'ils émettent pour reconstruire leurs habitats (*Wildlife spotted in unusual areas as flood waters push creatures out of homes*, 2017, 13 mai). Les oiseaux qui nichent au sol ont dû abandonner leurs nids et leurs œufs non éclos lorsque les eaux ont monté en début mai 2017. Pour d'autres espèces, la saison de reproduction a représenté un défi supplémentaire pour les oiseaux qui tentaient encore de s'attirer un partenaire. (Beckinsale et Volks, 2017) Même les chevreuils et les espèces qui habitent la ceinture de verdure ou le parc de la Gatineau se sont déplacés vers la ville pour fuir les eaux élevées. (Iowa State University, 2017)

D'autre part, ce ne sont pas toutes les espèces qui rencontrent des difficultés en présence des inondations. Les espèces qui ont besoin de l'eau dans une phase de leur vie ont eu plus de succès qu'à l'habitude. Puisque les pêcheurs n'ont pas pu sortir au printemps à cause des berges instables et des hauts débits d'eau, les poissons ont vu une période de reproduction prolongée sans leur principal prédateur : l'humain.

Ils ont également pu se servir de territoires inondés comme espace pour le développement et la reproduction, protégé des prédateurs comme dans une rivière naturelle. (Rice, 2017, 29 juillet)

Les grenouilles ont également eu une très bonne année, car elles ont besoin d'eau pour leurs premiers stades de développement. Les tortues par contre, ont besoin d'un endroit sec où pondre leurs œufs et doivent trouver de nouveaux endroits quand une inondation se présente en pleine période de reproduction. (ECCC, 2016) Les populations de maringouins ont dépassé la norme puisque l'eau était stagnante dans les champs agricoles et dans les flaques d'eau. De plus, toutes les maladies que transportent les maringouins ainsi que les autres insectes et arachnides ont également vu une forte croissance. Pour l'instant, la région est chanceuse d'avoir seulement des porteurs du Virus du Nil occidental et de la maladie de Lyme qui puissent survivre au climat (Public Health Agency of Canada, 2017), mais les changements climatiques risquent de modifier ces paramètres.

2.2.4 Humains et la boucle de rétroaction

Quant aux humains, nous sommes affectés par tous ces événements. L'inondation rend difficiles les activités à proximité des rivières telles que traverser un pont pour se rendre au travail ou à l'hôpital général. Cette année, le niveau d'eau est monté suffisamment pour atteindre le bas des ponts qui unissent les deux villes en plus d'inonder l'accès aux quais, au carillon et à plusieurs routes et quartiers. Afin d'éviter que la situation soit pire, les barrages ont été employés pour retenir les eaux de fonte selon l'obligation contractuelle des opérateurs avec le OMNRF (CO, 2013a).

Les hauts débits retrouvés dans les rivières en amont ont causé des inondations plus sévères en dehors de la ville. Plus d'érosion des berges et des routes ont également été remarquées dans ces villages qui ont plus de difficulté à obtenir les fonds monétaires pour la reconstruction (CO, 2010). L'augmentation des conditions érosives dans ces communautés peut également induire des glissements de terrain (SNVC, 2017a). Tous deux entraînent des particules fines et d'autres matières en suspension qui ne sont généralement pas présentes dans le cours d'eau. Une concentration plus élevée de contaminants est donc présente dans les eaux qui nourrissent la ville. (S. Dumas, notes de cours GEO 1515 : Matériaux terrestres, 5 octobre, 2012)

Présentement, la ville d'Ottawa tente de mettre à point un projet qui devrait aider avec les déversements accidentels dans la rivière. Un réservoir sous-terrain se fait installer pour retenir près de 95 % des surplus d'eau d'écoulement en grandes périodes de pluie (*Ottawa River full of untreated sewage during May flooding*, 2017, 10 mai). Similairement, la ville de Gatineau a fait améliorer ses constructions pour tenter de limiter les dommages causés par les inondations et les glissements de terrain subséquents (St-Pierre, 2014, 3 avril). De façon générale, les infrastructures naturelles créent la meilleure protection contre les

inondations, mais sont les premières à être remplacées. Les roches et la végétation naturelle ont été éliminées pour permettre l'accès aux activités récréatives. Ainsi, des murs de rétention ont été bâtis à leur place pour limiter l'érosion (MVCA et al., 2006). Ces constructions éliminent l'habitat de 90 % des espèces riveraines qui utilise des bandes riveraines pour la ponte des œufs ou comme source d'eau (Ottawa Riverkeeper, 2017).

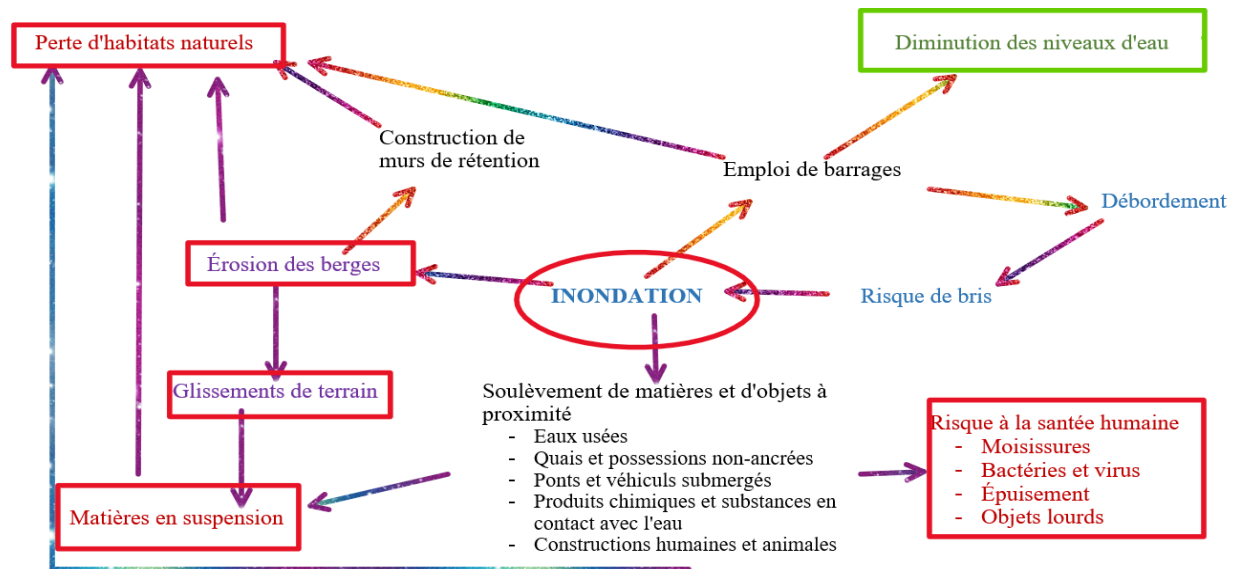


Figure 2.4 Schématisation des interactions entre les inondations et ses causes secondaires

D'autres initiatives sont également à l'essai dans la région afin d'aider à gérer les surplus d'eau. Entre autres, un projet de l'université de Waterloo a investi 75 000 \$ pour dépaver au minimum 250 m² du centre-ville d'Ottawa. Leur plan est d'installer de la brique poreuse pour permettre l'infiltration de l'eau dans le sol. Ce projet est mis en place dans vingt villes canadiennes pour l'instant et possiblement plus à l'avenir s'il démontre des résultats favorables. Comme un certain apport d'eau sera filtré par le sol, l'aquifère sera moins perturbé, car il en recevra moins, ce qui fait en sorte que Canards Illimités (Ducks Unlimited Canada [DUC], 2017) et les autres organismes de conservations pourront tenter de restaurer les milieux humides en région urbaine. (Beeby, 2014, 4 juin)

2.3 Impact des changements climatiques sur la fréquence d'inondations

Les changements climatiques sont inévitables à ce point selon les tendances actuelles. Les températures globales vont augmenter, dans certaines régions plus que d'autres, et les régimes de précipitation seront différents de ce que l'on connaissait dans le passé. Les températures plus élevées dans l'atmosphère permettront une plus grande quantité d'évaporation et plus de circulation des eaux. Le contraste thermique causera une augmentation de l'intensité de certains phénomènes climatiques tels que les blocages de la

circulation méridionale et les inondations subites sans avertissement. Parallèlement, d'autres événements tels que les sécheresses et les feux de forêt vont également gagner de l'ampleur. Les grandes ceintures de pluie, dont le courant-jet polaire, vont migrer vers les pôles et amener plus de précipitations à ces régions (Mann et Kump, 2009).

Les dernières décennies d'études dans le domaine ont permis aux experts de produire plusieurs modèles de changement en température et précipitations. Sur une quinzaine de modèles préparés par le *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (NASA Goddard Space Flight Center, 2013) et une vingtaine évaluée par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (International Panel on Climate Change [IPCC], 2007), les conclusions semblent assez similaires. Certaines régions du monde vont recevoir plus de pluie tandis que d'autres subiront de grandes sécheresses. Ces interactions spatiales sont mieux décrites par l'analyse d'une carte (Figure 2.5). Les cycles naturels que le monde ne réussit toujours pas à comprendre entièrement, comme le phénomène El Niño, ont le potentiel d'amener de l'incertitude et des grandes tangentes des climats prévus. Dans le cas des précipitations abondantes, le risque d'inondation est plus élevé et les impacts potentiels plus désastreux (Dauncey, 2009).

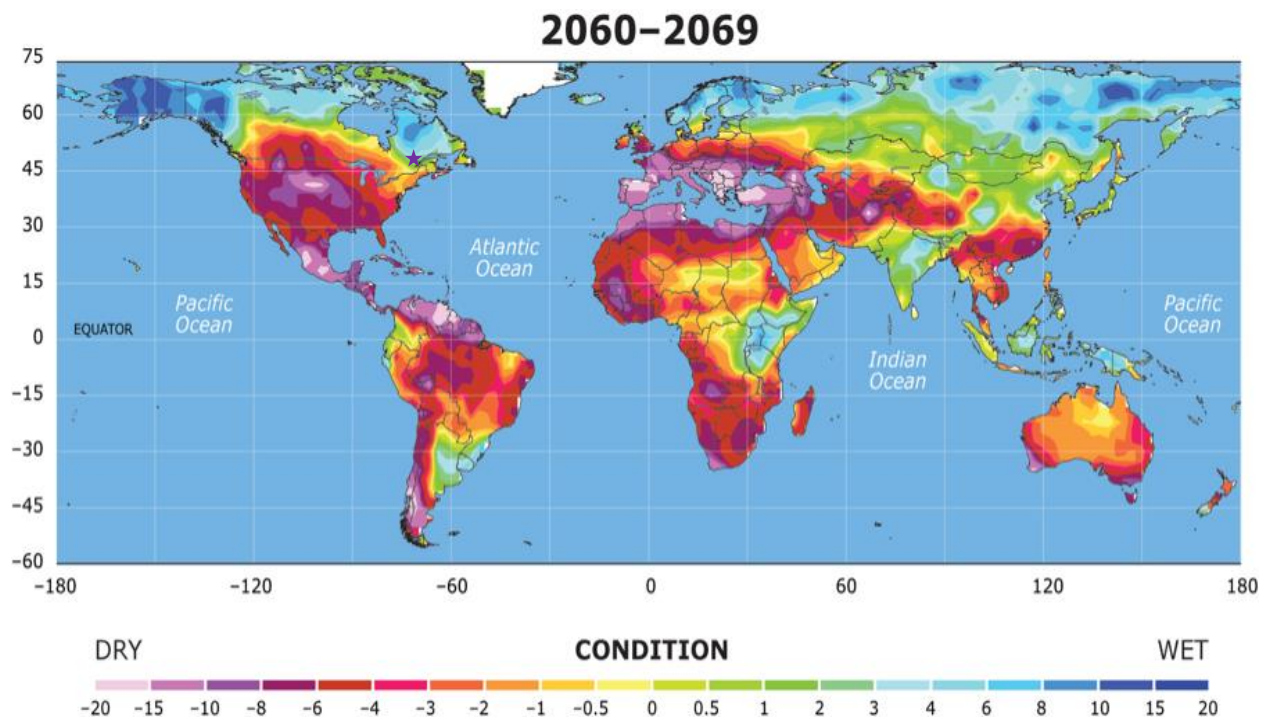


Figure 2.5 Carte du monde qui indique les changements de précipitation en mm d'eau prédit en surplus à la moyenne annuelle. Une étoile située approximativement la ville d'Ottawa, localisée dans une région verte (tiré de : Dai, 2010)

Les prévisions régionales du GIEC indiquent que le nord-est de l'Amérique du Nord est dans une région qui recevra plus de précipitations, surtout au printemps (IPCC, 2007). Les températures plus élevées indiquent également moins d'accumulation de neige et une fonte plus hâtive au printemps. Les vents instables amèneront plus de pluie et de tempêtes sévères, menant parfois à des inondations. Malgré cette association, le comité d'experts ne peut pas encore indiquer avec certitude si l'intensité ou la fréquence des inondations à ces endroits sera directement liée aux changements climatiques. Ils peuvent d'ailleurs supposer que les inondations qui auront lieu s'installeront plus rapidement que dans le passé et qu'elles prendront plus longtemps à s'évacuer. (Romero-Lankao et al., 2014) Les inondations du passé et de l'été 2017 dans la région d'Ottawa/Gatineau supportent ces suppositions.

La région de la capitale nationale est fortement affectée par les grandes décisions du gouvernement fédéral. Puisque les tentatives de réduction des émissions n'ont jamais été mises en œuvre de façon sérieuse, nous sommes figés en mode d'adaptation aux effets néfastes emportés par les changements climatiques. En 2005, toutes les agences gouvernementales ont été demandées d'identifier et de documenter les risques que posent une modification du système climatique. Jusqu'à présent, seulement cinq agences, dont Transport Canada, ont effectué cette tâche. Les autres demeurent inconscients des risques imposés par cette force anthropique et n'ont pas de plan pour limiter les effets néfastes sur leurs activités. Le gouvernement protège présentement plus de 66 milliards de dollars en infrastructures qui devront être abrités des effets des changements climatiques. Ils seront incapables, à la longue, de continuer de protéger ces infrastructures et d'aider les sinistrés suite aux désastres naturels comme les inondations. (Rabson, 2017, 3 octobre)

2.4 La plaine inondable

En bordure de toutes les rivières se trouve une plaine inondable qui se fait submerger d'eau lorsqu'un excès d'eau dans le système est présent (MVCA et al., 2006). C'est un endroit habitué aux inondations et la végétation y est adaptée (Fortin et Poulain, 2013). Dans les centres urbains, les humains ont appris à contrôler les niveaux d'eau afin d'éviter qu'une inondation se produise lorsqu'ils s'installent plus près des berges. Ce changement au régime naturel des inondations a altéré la végétation et les communautés vivantes qui peuvent habiter dans les bandes riveraines. La crue de récurrence de 100 ans est également un concept important, car les dimensions de la plaine inondable existent en transitions entre le milieu aquatique et le milieu terrestre. L'amplitude d'une inondation change d'une année à l'autre et a une chance sur cent, soit un pour cent, de risque que les niveaux d'eau dépassent cette crue n'importe quelle année (MVCA et al., 2006).

Pour mieux comprendre ces interactions et aider les deux grandes municipalités à créer des plans d'urbanisme bien informés, ces milieux ont été cartographiés. Par contre, plusieurs difficultés sont envisagées pour ce faire. Les deux villes sont situées dans des provinces différentes ce qui fait que le financement de projets de cartographie est assujéti à plusieurs contrastes. En plus, le territoire est divisé sous la juridiction de quatre grandes agences de protection des eaux, démontrées à la figure 2.6. Ils sont tous restreints par les activités des autres groupes qui partagent le bassin versant de la rivière des Outaouais. Pour tenter de gérer la complexité de la rivière des Outaouais, la Commission de planification et de la régularisation de la rivière des Outaouais fut créée. C'est un organisme formé de trois représentants fédéraux, deux de l'Ontario et deux du Québec pour aider à la mise en place d'accords et de politiques sur la totalité du territoire et entre les deux provinces. (Ottawa River Planning Board, 2011)



Figure 2.6 Sous-bassins de la rivière des Outaouais et les acteurs qui les gouvernent. Les principales autorités à Ottawa sont : *Mississippi Valley Conservation Authority (MVCA)*, *Rideau Valley Conservation Authority (RVCA)* et *South Nation Valley Conservation (SNVC)*. À Gatineau, la rivière se situe sur le territoire de l'ABV des 7 (tiré de : Sentinelle Outaouais, 2017)

Les grands projets de cartographie de la plaine inondable menés par l'ABV des 7 ont été entamés en 1979, lors de l'entrée en vigueur de PPRLPI, et encore en 1998 où le restant des territoires ont été cartographiés. Les cartes sont vieilles et, malgré que les rivières soient dynamiques, aucune tentative n'est présentement prévue pour leur mise à jour. Les cartes et le projet ne sont également pas assortis d'une contrainte légale qu'ils peuvent imposer sur la ville pour faire respecter ses limites. (ABV des 7, 2014)

Pour les trois acteurs du côté ontarien de la rivière, les cartes ont été élaborées à la fin des années 1960. C'était le premier mandat des autorités de la conservation suite à leur création. Les mesures sont généralement fondées sur les effets maximaux de l'Ouragan Hazel de 1954 (Ottawa River Planning Board, 2011). Dans leur situation, ils ont le pouvoir de régler l'étalement urbain dans ces régions définies en coopérant avec les municipalités (CO, 2010). Ils doivent également opérer les barrages et aviser les municipalités en situation d'urgence (CO, 2013a). En 2013, un projet a été initié pour la mise à jour des cartes de plaine inondable en Ontario à l'aide d'un faible investissement financier pour l'effectuer (CO, 2013 b). La MVCA a complété cette tâche pour les plaines inondables de leur réseau situé à Ottawa et a rendu disponibles leurs résultats (MVCA, 2017). La RVCA et la SNVC ont commencé le processus de mise à jour, mais les documents demeurent jusqu'à présent dans leurs bibliothèques (RVCA, 2017; SNVC, 2017b).

Il est à savoir que les cartes construites par tous ces acteurs varient en sources d'information, en année de publication et par les types de mesures. Compiler toutes les données de source et d'échelle temporelle différentes serait donc quasiment impossible. Ce trou dans les données ainsi que les problèmes de mise à jour sont les raisons principales pour lesquelles les compagnies d'assurance ne sont pas prêtes à assurer les inondations (IBC, 2015). Certains exemples des différences qui peuvent être observées d'une carte à l'autre sont présentés à la figure 2.7 ci-dessous. Les informations présentées sont différentes en plus des années de référence, du type de polygone et du format des cartes.

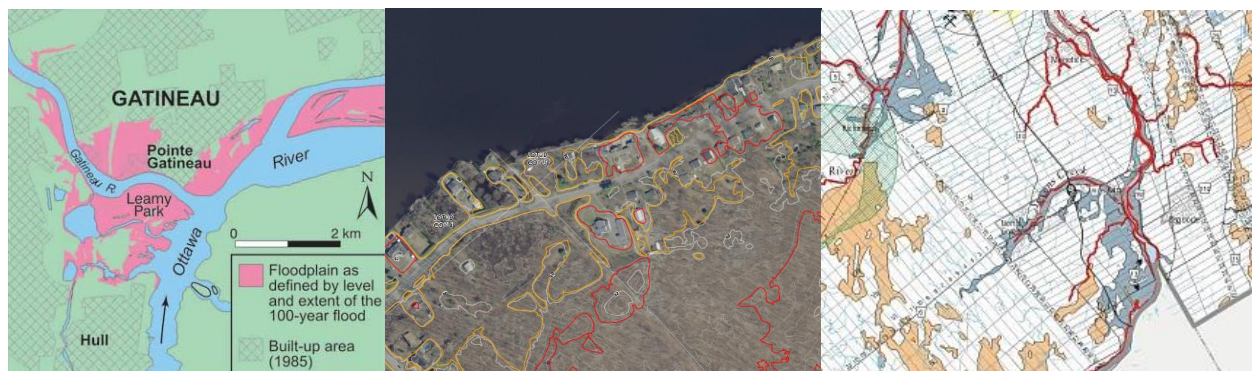


Figure 2.7 Exemples de cartes qui délimitent la plaine inondable pour (a) la rivière Gatineau, (b) MVCA et (c) la ville d'Ottawa. Les cartes complètes de (b) et (c) sont présentées à l'annexe 1 (tiré de : [a] Canadian Geoscience Education Network, 2017; [b] MVCA, 2017 ; [c] City of Ottawa, 2003)

Les gouvernements se basent sur ces cartes lorsqu'ils ont des décisions à prendre concernant la plaine inondable. C'est pourquoi elles doivent être accessibles et mises à jour. Sans ces cartes, les experts ne peuvent pas justifier aux municipalités les risques qu'elles créent en permettant aux gens de s'établir dans la plaine inondable.

Le développement en plaine inondable est commun dans toutes les grandes villes de l'Amérique du Nord. Ceci causera le plus énorme défi pour l'adaptation aux changements climatiques et aux tendances altérées de la dispersion des précipitations à l'échelle mondiale. Comme toutes ces villes, la région de la capitale nationale manque d'espace pour se densifier; la population s'étale donc dans toutes les directions. Puisque 3 grandes rivières existent au cœur de la région urbaine et que deux autres sont présentes dans la zone d'étalement, les berges sont soumises à des processus de densification. La figure 2.8 montre l'étalement actuel du réseau routier sur lequel se situent les habitations.

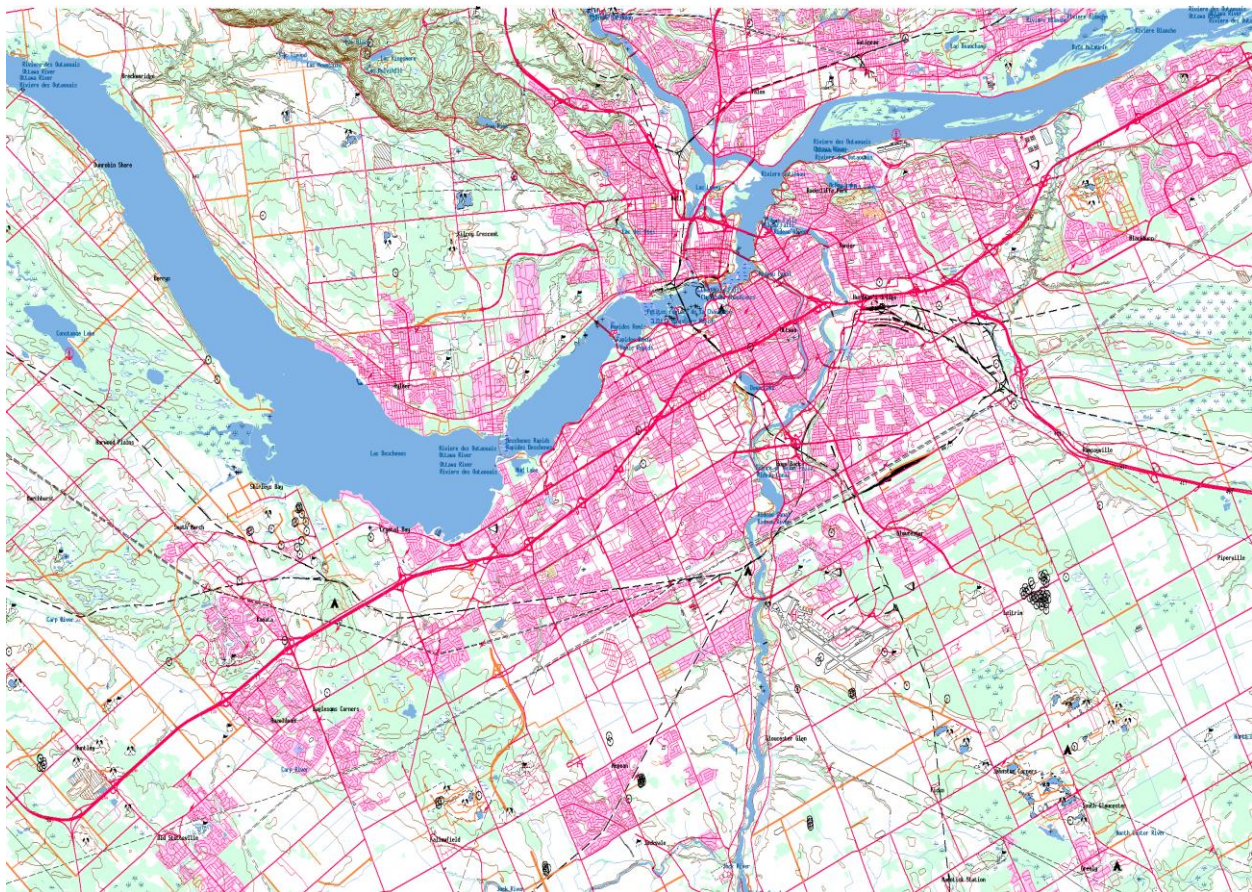


Figure 2.8 Carte des principaux développements résidentiels et industriels près de la rivière des Outaouais dans les villes d'Ottawa et de Gatineau (tiré de : Yellow maps, 2010)

Les constructions se rapprochent des berges des rivières dans les deux villes, surtout le long des rivières Rideau et Gatineau. Ce sont des régions attrayantes avec un accès à l'eau privé où des maisons qui valent

plusieurs millions ont été érigées (Zimonjic et al., 2017, 9 mai). Leurs seules protections contre les inondations sont l'opération des barrages, les sacs de sable (Fraser, 2017, 9 mai) et les codes de construction (Ireton, 2017, 14 mai). Les départements du MAMOT et de la SSP du Gouvernement du Québec tentent de faire respecter la PPRLPI en créant des mesures dans lesquelles les municipalités doivent les respecter (MAMOT, 2017b). Simultanément, le maire de Gatineau demande le support du ministère pour protéger certains quartiers historiques, car il croit être capable d'éviter une prochaine inondation comme celle de 2017 (Pedneaud-Jobin, 2017, 7 juillet). La figure 2.9 montre que cette protection dans la zone de récurrence de 20 ans est peu probable.

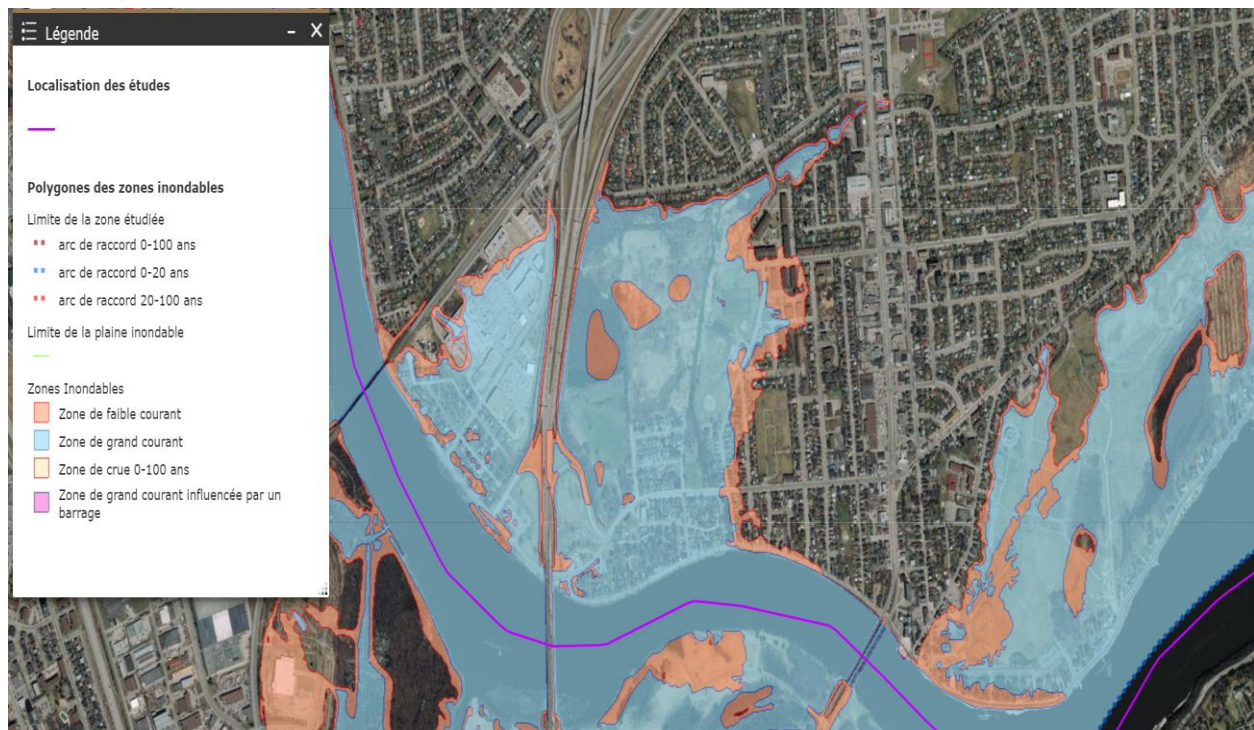


Figure 2.9 Développement résidentiel du secteur Hull à Gatineau dans la crue de récurrence de 20 ans (tiré de : MDDELCC, 2003)

Une situation comparable existe à Ottawa. Les autorités de conservation ont le devoir d'aviser les municipalités dans la préparation de leurs schémas d'aménagement et par la suite, de travailler avec elles pour limiter les inondations quand celles-ci ne suivent pas les conseils. Ils ont le support du MNRF et d'Environnement et Changements climatiques Canada (ECCC) et sont en processus de mise à jour de leurs cartes pour avoir du matériel récent à présenter aux municipalités. Ils protègent également les milieux naturels sensibles qui servent de bassin de rétention des eaux supplémentaires (CO, 2013a). Pour gérer les débits et prévenir plus de 100 millions de dollars en dommages annuels, les autorités de conservation opèrent plus de 900 barrages et collaborent avec la production hydroélectrique pour régler

les niveaux d'eau dans les cours d'eau. Ils ont même le devoir d'annoncer les messages d'inondation aux municipalités et de faire des prévisions plus tôt dans la saison. (CO, 2013b)

Malgré les mesures de prévention mises en place, les municipalités ne sont pas obligées de suivre les conseils des autorités. Ces dernières doivent malgré tout protéger les citoyens (MVCA et al., 2006). Souvent, pour protéger une région de dense population, les régions agricoles et rurales sont sacrifiées. L'écoulement des cours d'eau est altéré de façon à réduire l'apport en nutriments sur les champs et l'accès à l'eau dans les villages en amont. La figure 2.10 montre un quartier en plaine inondable à Ottawa qui a fait une demande d'aide fédérale pour protéger ses bâtiments historiques.

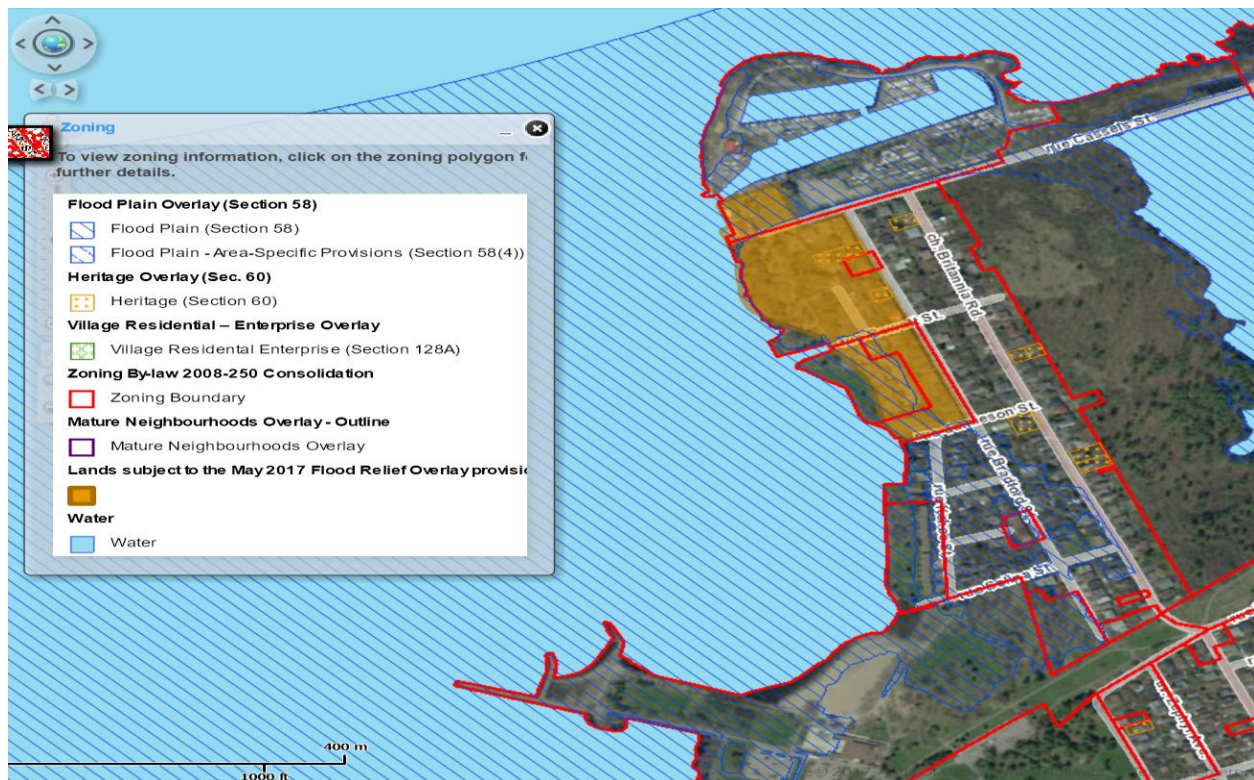


Figure 2.10 Exemple d'un développement urbain en plaine inondable à Ottawa qui a dû faire appel à de l'aide fédérale lors des inondations récentes (tiré de : City of Ottawa, 2017a)

Trouver une solution qui permet de résoudre les problèmes dans les deux villes sera très difficile. Les objectifs de réduction des niveaux d'eau sont différents pour toutes les parties prenantes de la situation en Outaouais. Certains résidents désirent demeurer dans leurs maisons tandis que d'autres souhaitent seulement traverser la rivière. C'est pourquoi plusieurs méthodes doivent être évaluées et comparées afin de permettre aux deux villes de prendre des décisions informées sur la solution à appliquer.

3. LES SOLUTIONS

Au temps de la colonisation, de nombreuses solutions aux inondations ont été tentées dans la rivière des Outaouais. Généralement, elles sont similaires aux solutions mises en œuvre à d'autres endroits sur le continent nord-américain. De nombreuses méthodes existent pour réduire ou éliminer les inondations et les dommages qu'elles peuvent causer, mais pas tous les remèdes sont applicables à la région en question.

Afin de pouvoir mettre en place une solution, elle doit en premier lieu être possible. Les réponses aux inondations en bordure des Grands Lacs et des océans sont généralement acceptées comme solutions, mais sont différentes de celles initiées dans un système riverain. D'ailleurs, certaines adaptations qu'ils mettent en place dans les régions développées pour un risque de tempêtes tropicales peuvent être considérées dans les plaines inondables. La solution doit non seulement faire référence à un système riverain, mais elle doit également corrélérer avec la topographie locale.

En deuxième lieu, une ville ne peut pas financer une grosse solution coûteuse seule, elle a besoin d'aide monétaire des gouvernements. Pour ce faire, l'efficacité du remède doit être démontrée et les coûts minimisés dans la mesure du possible. Une des villes canadiennes avec le plus de protection contre les inondations est Winnipeg, situé le long de la rivière Rouge qui inonde toutes les années. Elle a plusieurs projets de protection complétés, mais n'aurait jamais réussi sans le support financier du pays et de la province selon leurs accords. (Passfield, 2012)

En troisième lieu, des ententes politiques doivent être établies pour permettre la mise en place d'un projet de cette envergure. La collaboration entre les deux provinces et le pays est nécessaire et possiblement le facteur le plus important dans la région de la capitale nationale. Historiquement, aucune entente sur les activités de la rivière des Outaouais n'a eu lieu ce qui explique pourquoi les efforts de nettoyage de la rivière sont aussi importants aujourd'hui. La rivière appartient en partie au Québec, à l'Ontario et au Canada, mais également aux populations indigènes de la région, notamment les Algonquins. (MacGregor, 2015, 24 juillet)

3.1 Tentatives faites par le passé sur la rivière des Outaouais

Au temps de la colonisation, la rivière des Outaouais était très importante pour la traite des fourrures et la foresterie. C'est pourquoi de nombreux moulins ont été construits en employant des barrages pour produire de l'énergie. La rivière s'est fait industrialiser pour aider les colons dans leurs efforts pour l'Empire britannique. La ville d'Ottawa s'est développée pour gérer le bois à la jonction de trois rivières, la Gatineau, la Rideau et l'Outaouais, avant d'envoyer les matières premières à Montréal. Ces activités ont

contaminé la rivière avec des écorces et d'autres résidus depuis les années précédant la confédération. (MacGregor, 2015, 24 juillet)

Suite à cette période, au tournant du 20^e siècle, les barrages ont été introduits en grands nombres dans le bassin versant des Outaouais. Leurs rôles étaient le contrôle des niveaux d'eau et la production d'énergie compétitive et non partagée entre les deux provinces. Dans les années 1950, les terrains situés en plaine inondable, sauf les terres de la couronne protégée du développement humain, ont été vendus à des propriétaires privés. Le rôle des barrages a changé afin d'abriter ces gens et non de prévenir les dommages plus extensifs des inondations sur la région. (MVCA et al., 2006)

D'autres tentatives employées surtout dans les rivières de la Nation du sud et Gatineau incluent le redressement des berges à l'aide de machinerie, pour creuser un nouveau lit de rivière, ou des structures qui empêchent le développement de méandres (SNVC, 2015). Les avantages de ces solutions sont que l'eau s'écoule plus rapidement et que les berges instables sont partiellement protégées de l'érosion qui pourrait entraîner des glissements de terrain. Par contre, cette solution ne fonctionne pas bien pour évacuer l'eau quand elle est retenue par des barrages.

Les grands organismes de bassin versant ont été créés dans les deux provinces pour s'assurer que le développement près des cours d'eau s'effectue en équilibre avec la nature. Leurs objectifs sont de permettre aux écosystèmes et aux milieux naturels de bien s'adapter par la mise en place de propositions aux schémas d'aménagements dans les villes. Ils ont également la responsabilité de les protéger, dans la mesure du possible, de tout risque d'inondation. Ils font de la recherche sur la santé des milieux naturels et créent des modèles de prévisions qu'ils partagent entre eux et avec les municipalités. (CO, 2010)

Malgré la collaboration à ce niveau, la communication directe entre les comités de bassin versant sur les rivières de l'Ontario et celles du Québec est toujours absente. La Commission de planification et de régularisation de la rivière des Outaouais coordonne la communication sur les niveaux d'eau et tente d'obtenir de faire collaborer les comités dans le futur (Ottawa River Planning Board, 2011). L'organisme de surveillance Sentinelle Outaouais travaille également avec les deux provinces, mais n'a aucun pouvoir de recommandation dans les villes (Ottawa Riverkeeper, 2017). Cet aspect a besoin de plus de travail dans les années à venir afin d'éviter d'autres inondations.

Présentement, plusieurs efforts sont concentrés sur les méthodes pour abriter les maisons individuelles. Entre autres, ce sont par des mises à jour du code de construction et des normes en régions à risque d'inondations. Rénover les maisons plus anciennes qui n'ont pas ces mécanismes de protection est également nécessaire. (Skura, 2017, 12 mai) Ces adaptations proposent des moyens de réduire les dommages à la propriété en situation d'inondation, et donc pas des stratégies d'éviter l'inondation. En cas

d'inondation subite ou de plus grande envergure, les maisons ne seront pas suffisamment protégées sans l'aide supplémentaire de la ville et des mesures d'urgence.

3.2 Barrages



Figure 3.1 Barrage sur la rivière Mississippi à la jonction de la rivière des Outaouais (tiré de : Ottawa Riverkeeper, 2017)

Les barrages sont très communs sur plusieurs des rivières du monde et l'Outaouais n'en est pas exempté. Le système riverain s'étale sur 1 130 km de longueur dans la rivière et ses tributaires avec une capacité de stockage de 14 milliards de m³ dans les 30 grands réservoirs du système. Quelques-uns des réservoirs sont élargis ou entièrement créés par la mise en place de barrages. (Ottawa River Planning Board, 2011)

Le mode de fonctionnement d'un barrage est simple : il retient une partie de l'eau supplémentaire du système en amont pour les laisser écouler une fois l'inondation passée (Ancil, 2015). Les débits sont donc différents d'un moment à l'autre de l'année et de la journée pour contrôler l'eau plutôt que de lui permettre de s'écouler naturellement (Ottawa Riverkeeper, 2017). Cette modification apporte plusieurs effets négatifs dans sa quête pour réduire l'intensité des inondations.

L'utilisation de barrages à grande échelle permet la production d'hydroélectricité et apporte un revenu municipal qui justifie les hauts coûts d'installation (Jackson, s. d.). Les débits réduits dans le bassin en amont du barrage sont idéals pour les activités récréatives telles que la navigation et la pêche (Ottawa Riverkeeper, 2017) malgré le danger hydraulique du reflux et des changements de niveau soudains à proximité du barrage (Toronto and Region Conservation Authority [TRCA], 2016).

Les barrages sont souvent installés à proximité des villes de façon à maximiser la protection qu'il peut avoir tout en minimisant le nombre de personnes déplacé lors de la formation du réservoir en amont. De façon générale, ce sont donc les fermes et l'industrie alimentaire qui doit subir les répercussions au

Canada. Dans le dernier demi-siècle, plus de 40 millions de personnes dans le monde ont été déplacées par la construction de barrages. De plus, ces aménagements ont contribué à de grandes conséquences économiques dans les régions inondées, et ce, de façon permanente (Fortin et Poulain, 2013). Des terres habitables et plusieurs milliers de reliques culturelles et archéologiques sont perdues. Un grand espace d'habitat terrestre se fait inonder ce qui détruit l'habitat de plusieurs espèces menacées. (Jackson, s. d.)

Les espaces terrestres ont des propriétés physicochimiques différentes des milieux aquatiques, entre autres, les propriétés du mercure. À son état naturel, le mercure est un liquide qui permet aux bactéries aquatiques de le mettre en solution. Une fois en solution, il se bioaccumule dans les poissons et empoisonne la chaîne alimentaire. En inondant des milieux terrestres par la construction de barrages, ces métaux lourds, présents sur les terres, sont rendus disponibles en solution et posent une menace aux poissons et à l'industrie des pêches (McFarland, Hunt et Campbell, 2007). D'autres paramètres de l'eau, comme la température, la concentration des nutriments et la disponibilité d'oxygène dissous, sont menacés par la réduction des débits et la création de barrages (Ottawa Riverkeeper, 2017). Le débit altéré permet aux déchets de s'accumuler derrière les barrages, ce qui empoisonne l'eau par la sécrétion de produits chimiques (Jackson, s. d.). Les espèces aquatiques, en plus de devoir vivre dans des conditions chimiques non idéales, se font limiter à un segment de rivière, car ils ne peuvent pas traverser le barrage pour accéder à leurs espaces de reproduction et d'alimentation (Ottawa Riverkeeper, 2017).

En construisant des barrages, le régime naturel des inondations est modifié ce qui empêche le transport de sédiments sur les plaines inondables, et résulte en une diminution de la fertilité des sols (Fortin et Poulain, 2013). L'industrie alimentaire doit alors avoir recours aux engrais et aux pesticides pour remplacer la perte de productivité des sols (Jackson, s. d.).

Le régime des inondations plus prévisible et mieux contrôlé permet aux populations en aval, soit les villes d'Ottawa et de Gatineau dans ce cas, d'avoir un faux sentiment de sécurité. Ils oublient le risque résiduel de bris ou de débordement afin de s'étaler progressivement plus près des plaines inondables. (Commission européenne, 2003)

Le pire scénario possible pour une grande ville bâtie en aval d'un barrage serait un bris, le relâchement de toute l'eau stocké en amont dans la rivière. Les résultats incluraient une inondation subite et catastrophique qui causerait plusieurs milliards en dommages et probablement la perte de plusieurs vies (Fortin et Poulain, 2013). Les bris sont communs quand suffisamment d'eau est stockée derrière le barrage. Lorsqu'un barrage déborde, il ne peut plus assurer son rôle de retenir l'eau et engendre donc des bris, alors ils sont ouverts afin d'empêcher un plus grand désastre. (City of Winnipeg, 2004)

À titre d'exemple, le barrage de Carleton Place, dans le sous-bassin de la rivière Mississippi déborde à 134,5 m. Un niveau d'eau normal à ce barrage est de 134,25 m suite aux inondations printanières (MVCA et al., 2006). À l'été 2017, les eaux ont été retenues le plus longtemps possible afin de limiter les inondations à Ottawa, mais l'eau a débordé et le barrage a dû être ouvert du 7 au 17 mai tel que montré sur la figure 3.2 suivante.

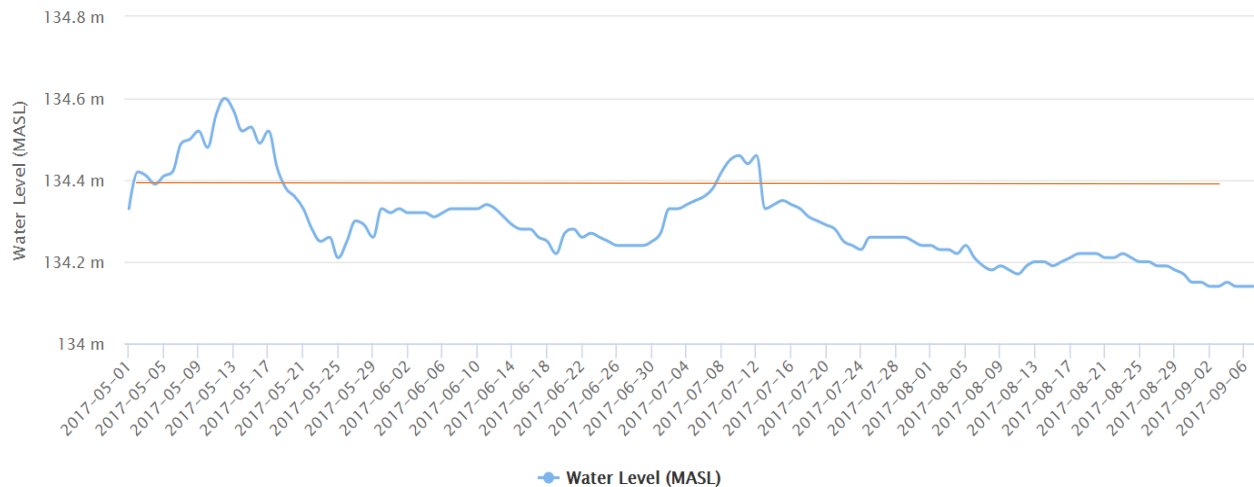


Figure 3.2 Niveaux d'eau au barrage de Carleton Place, en amont d'Ottawa, mesuré entre mai et septembre. La ligne rouge représente la capacité maximale de rétention d'eau, au-dessus de laquelle, le barrage déborde et des conséquences pourraient survenir (tiré de : MVCA, 2017)

Les barrages se font opposer par plusieurs groupes environnementaux internationaux en raison des nombreux impacts négatifs qu'ils peuvent causer. Une grande région en amont du barrage se fait inonder suite à la construction de ce dernier. Parfois, des villages en entier sont submergés et tous les habitants doivent être relocalisés, et ce pour améliorer les conditions en aval. Ils font surgir la question des *droits de la personne* pour tous ceux qui doivent quitter leurs maisons. En plus, les barrages pourraient un jour servir de cible terroriste, car l'eau est une ressource indispensable et les villes en aval seraient détruites si un bris non contrôlé se produisait. (Jackson, s. d.)

Les barrages sont utilisés en grande quantité sur les grandes rivières du monde. La rivière des Outaouais est un tributaire important du fleuve Saint-Laurent qui figure parmi les dix plus grandes rivières au monde. Ils sont souvent utilisés pour retenir l'eau avant une saison sèche et pour permettre l'accès à l'eau à toutes les communautés lors de sécheresses. C'est une solution idéale dans les régions où le climat est variable, car elle est efficace pour les hauts et bas niveaux d'eau. (Ancil, 2015)

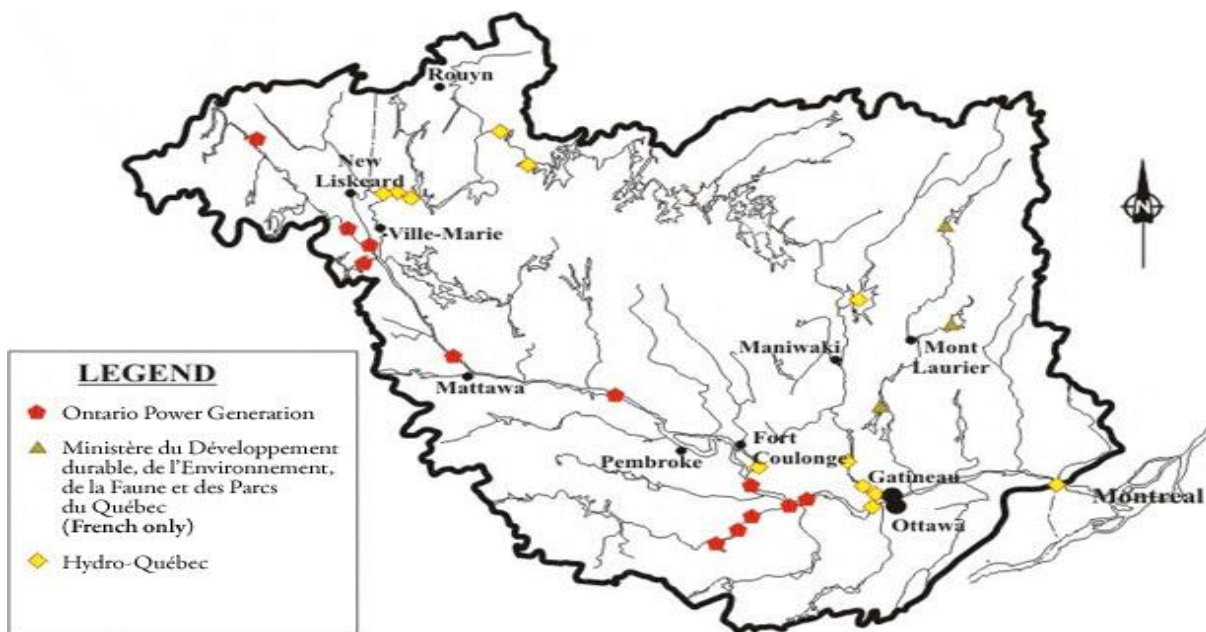


Figure 3.3 Localisation des barrages principaux sur la rivière des Outaouais (tiré de : Ottawa River Planning Board, 2011)

Les barrages, peu importe leurs objectifs, nécessitent tous un apport en eau présent à l'année longue. Au Canada, ils sont généralement utilisés pour l'hydroélectricité et pour régler le régime naturel des eaux qui entourent ces grands barrages. Ils sont présents dans le bassin versant depuis de nombreuses années et sont utilisés à grande échelle pour le contrôle des eaux d'inondations. Par contre, cette utilisation répandue limite les opportunités pour introduire plus de stations, car plus de barrages dans la région d'Ottawa/Gatineau auront un impact sur la capacité de production hydroélectrique de la région.

3.3 Digues et levées



Figure 3.4 Exemples de digues de la rivière Thames à London, ON et Brewer Park à Ottawa (tiré de Upper Thames River Conservation Authority [UTRCA], 2017 ; ECCC, 2013)

Les digues et les levées sont très similaires en nature et sont parfois confondues ou employé comme synonymes malgré leurs différences. Traditionnellement, une digue est une structure en terre surélevée qui

délimite les deux côtés d'une rivière afin de permettre aux eaux de monter sans déborder du lit. Elle est mise en place pour rendre plus étroite la rivière et faire circuler l'eau plus rapidement afin de l'évacuer. Les levées sont similaires puisqu'elles sont également composées de terre surélevée, mais délimitent seulement un côté de la rivière ou d'une propriété. Elles sont souvent de plus grandes structures en ciment résistant à l'érosion. (Jackson, s. d.)

Dans le cas d'une inondation sévère, les digues peuvent être surélevées avec des digues temporaires en sacs de sable (Commission européenne, 2003). Un risque résiduel de débordement, d'infiltration d'eau sous la digue ou même de bris est présent lorsque les niveaux d'eau montent. De plus, ces risques peuvent entraîner de réels dommages tels que l'érosion de la digue. Alors, la région protégée par une digue a besoin d'une pompe à l'intérieur de la barrière pour évacuer les excédents d'eau qui débordent ou s'infiltrent. Elle requiert aussi de l'entretien et des inspections fréquentes pour assurer qu'elle fonctionnera à la prochaine inondation. (ECCC, 2013)

Les levées sont plus communes en régions côtières comme défense contre les tempêtes tropicales, mais peuvent être utilisées dans d'autres régions côtières. Elles protègent généralement de grands espaces sous le niveau des eaux et sont donc fabriquées avec des matériaux imperméables et résistants à l'érosion. Souvent, aucun système d'évacuation des eaux qui la franchit n'est mis en place; l'eau devient alors piégée à l'intérieur de la levée. C'est ce qui s'est produit en Louisiane en 2005 lors de l'ouragan Katrina qui a empiré les dommages. (Jackson, s. d.)

L'utilisation de ces structures permet de réclamer les terres qui se feraient autrement inonder, et de les utiliser pour l'agriculture ou le développement urbain (ECCC, 2013). Le fait d'être protégé des inondations, même si ce n'est aucunement une protection absolue, encourage le développement de la plaine inondable (Commission européenne, 2003). La modification pour l'usage humain des bandes riveraines peut à son tour entraîner la destruction des habitats naturels et des milieux humides (Ottawa River Planning Board, 2011).

Généralement, les digues sont employées comme moyen de protection contre les inondations dans les régions peu peuplées. Ceci est dû au fait qu'elles font considérablement augmenter l'intensité des inondations dans les milieux en aval (Fortin et Poulain, 2013). Pour qu'elle fonctionne, la méthode doit être mise en place des deux côtés de la rivière. Sinon, c'est une levée qui ne fait que pousser l'eau supplémentaire de l'autre côté de la rivière. Dans le contexte de la capitale, une digue construite en Ontario, mais pas au Québec, permet d'éviter l'inondation à Ottawa, mais les eaux supplémentaires inondent Gatineau. Si les deux villes coopèrent, l'eau sera efficacement évacuée de la région, mais inondera plutôt Montréal.

D'ailleurs, puisque les digues font évacuer rapidement les eaux supplémentaires, elles ont le potentiel d'améliorer la navigation. La vitesse d'écoulement de l'eau reprend un régime naturel plus rapidement et moins d'obstacles sont présents dans le cours d'eau pour obstruer le passage des bateaux (Jackson, s. d.). Les coûts de construction sont élevés, mais généralement raisonnables (City of Winnipeg, 2004).

L'exemple classique canadien d'inondations est celui de la rivière Rouge qui traverse le Manitoba et la ville de Winnipeg en circulant vers le nord et la baie d'Hudson. Elle inonde toutes les années puisque les glaces fondent plus rapidement dans les régions plus au sud alors que l'exutoire de la rivière se trouve au nord. Alors, depuis les années 1950, la ville de Winnipeg trouve des moyens ingénieux pour se protéger des inondations. Parmi ces solutions, un circuit de digues traverse la ville et parcourt 110 km de longueur. Les digues sont bâties à une hauteur suffisante pour résister à une inondation aux crues de récurrence de 700 ans. La ville a choisi ce niveau de protection en vue des changements climatiques et de leur potentiel de faire augmenter la hauteur de la crue de 100 ans d'ici quelques années. (City of Winnipeg, 2004)

La ville a bâti le système de digues sous des routes surélevées, initialement comme solution temporaire lors de la construction du canal de dérivation (Passfield, 2012). Suite aux inondations de 1956, 1966 et 1997, elle a décidé de le garder. Les routes sont suffisamment larges pour pouvoir ajouter des digues temporaires en sac de sable afin de protéger davantage la population si le cas advient que les eaux d'inondations dépassent la crue de 700 ans. La ville a également installé plusieurs stations de pompage à l'intérieur de la zone protégée pour évacuer les eaux de débordement qui entreraient dans la zone tampon le long de la rivière. (City of Winnipeg, 2004)

Afin de pouvoir construire ce système de protection, la ville a signé l'accord de la ville de Winnipeg avec la province et le gouvernement fédéral afin d'interdire toute construction en plaine inondable. Cet accord leur donne accès au financement de leurs projets de prévention des inondations et élimine le besoin d'aide financière pour les désastres naturels. (City of Winnipeg, 2004)

Suite au succès du système de digues à Winnipeg, les autres municipalités du Manitoba situées autour de la rivière rouge ont déterminé qu'ils devaient augmenter les impôts afin de construire des infrastructures les protégeant des inondations (Manitoba Clean Environment Commission, 2002). Alors, des digues de périmètres ont été installées dans ces municipalités, représentées à la figure 3.5 de la page suivante, afin de leur offrir un certain niveau de protection contre ces mêmes inondations (Passfield, 2012).

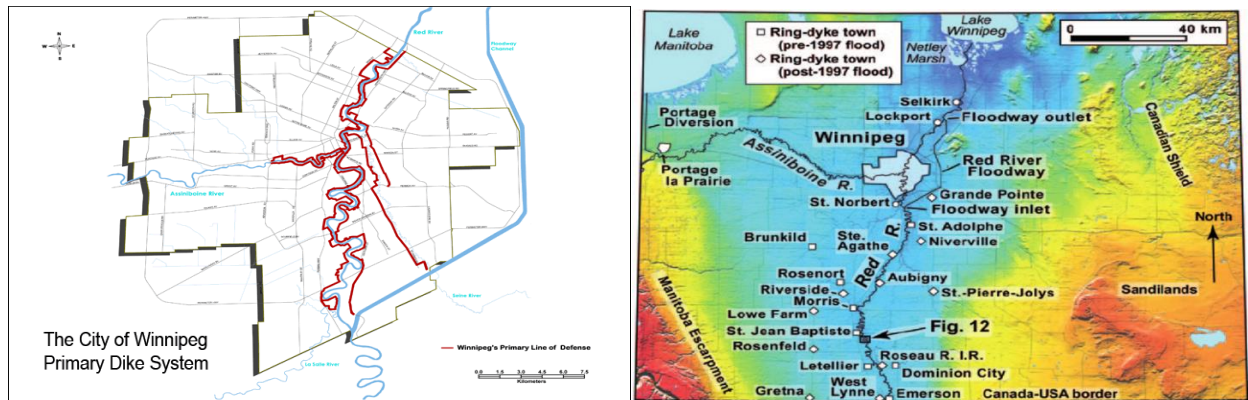


Figure 3.5 Étalement des digues de la rivière rouge dans la ville de Winnipeg et les villages du Manitoba qui ont suivi l'exemple pour se bâtir des digues de périmètre (tiré de EmergWeb, 2017 ; Brooks et St. George, 2015)

Cette solution n'est pas seulement employée au Manitoba. Des digues sont présentes dans plusieurs bassins versants canadiens, dont la rivière Fraser à New Westminster (Municipality of New Westminster, 2016), CB et à Londres, ON le long de la rivière Thames représentée à la figure 3.4 (UTRCA, 2017). C'est une solution qui requiert de la coopération politique ainsi que l'évacuation de la plaine inondable.

3.4 Canal de dérivation



Figure 3.6 Canal de dérivation à Winnipeg (tiré de : Deal, 2011, 8 avril)

Un canal de dérivation est une option pour retirer l'eau du système de la rivière. Pour le créer, une rivière artificielle est creusée pour contourner la ville avec un barrage à l'entrée et à la sortie du canal afin de contrôler le débit lorsqu'il se fait remplir. Il peut alors demeurer vide deux années de suite pendant une sécheresse et être rempli l'été suivant lorsqu'une inondation se produit. Cette solution permet d'alléger le débit de la rivière qui traverse la ville sans devoir retenir des eaux supplémentaires dans une autre partie du bassin versant. (Anctil, 2015)

Cette solution permet de réduire les risques d'inondation sur place et dans les autres régions en aval sans empirer la situation dans les villages en amont (ECCC, 2013). Elle effectue cela en faisant réduire le niveau maximal atteint par les hautes eaux sans les bloquer ou modifier l'écoulement total dans la rivière. Afin de correctement mettre en place cette solution, de la législation est requise pour identifier comment cette solution sera introduite, qui payera les coûts d'installation et combien de personnes seront expropriées de leurs maisons. (City of Winnipeg, 2004)

Par contre, cette solution est complètement dépendante de la topographie et ne peut pas être une solution en elle-même (Komarnicki, 2013, 5 octobre). Pour que l'eau d'une rivière contourne son chenal habituel, elle doit sortir de sa plaine inondable, généralement en montant une colline, et être introduite dans un milieu naturellement sec. Comme tout ouvrage, plus la période de construction sera longue et difficile, plus les coûts d'installation monteront. (ECCC, 2013)

La construction d'un canal de dérivation dans la région de Gatineau serait impossible, car la ville est délimitée par les collines de Gatineau. Similairement, les hauts bassins versants des rivières Mississippi, Rideau et South Nation se trouvent dans la chaîne des Madawaska; rejoindre ces rivières ou forcer l'eau de s'écouler vers le Saint-Laurent plutôt que la rivière des Outaouais est alors impossible. (S. Dumas, notes de cours GEO 1515 : Introduction aux matériaux terrestres, 27 septembre 2012)

L'exemple canadien classique d'un canal de dérivation est celui de Winnipeg. Le canal permet aux eaux supplémentaires de la rivière rouge de contourner la ville dans un canal de 48 km de longueur (Komarnicki, 2013, 5 octobre). Il a été complété en 1968 pour un total de 57 millions de dollars à l'époque, soit plus de 800 millions de dollars aujourd'hui (Passfield, 2012). Il a la capacité de transporter 2 067 m³ d'eau par seconde (Internal Joint Commission et KGS Group, 2000) et protège plus de 32 milliards de dollars en infrastructures toutes les années. La construction du canal a également forcé l'expropriation de 100 000 personnes qui habitait auparavant l'emplacement du nouveau chenal de dérivation. (Komarnicki, 2013, 5 octobre)

Plusieurs raisons expliquent pourquoi cette stratégie a fonctionné dans cette région. Principalement, Winnipeg se trouve dans les prairies, soit une région très aplatie du continent avec des sols d'origine minérale stable. Le fait que le sol est très égal, une petite inondation peut s'étaler sur de grandes distances et influencer une quantité énorme de personnes et d'industries. La municipalité a pris la décision de réduire les inondations et ne pas permettre le développement en plaine inondable. De cette façon, ils obtiennent de l'aide gouvernementale pour protéger tous leurs citoyens plutôt que recevoir des retours d'impôts plus élevés de certains. (Manitoba Clean Environment Commission, 2002)

Ce n'est pas le cas dans la capitale où les sols sont à risque de glissement de terrain et le paysage modelé dans la vallée de l'Outaouais entre les deux chaînes de collines. Les deux villes permettent un certain niveau de construction dans les plaines inondables et n'auront donc pas accès à l'aide gouvernementale pour la mise en place d'une telle solution. De plus, le seul moyen de mettre en place cette solution serait alors de pomper l'eau pour la faire circuler dans la ceinture de verdure de la ville. Faire circuler l'eau sur terre présente un avantage financier, mais la longueur et hauteur requise pour cette solution dans la région d'Ottawa n'est pas faisable. (Komarnicki, 2013, 5 octobre)

Un exemple plus proche du scénario à Ottawa est le plan du canal de dérivation de la rivière Comite en Louisiane. Dans ce cas, le canal enverra l'excès d'eau dans la rivière Mississippi 19 km plus loin. Les estimations du budget requis pour ce projet sont déjà au-delà de 200 millions de dollars et un minimum de trois pompes seront requises pour faire fonctionner le projet comme montré sur la figure 3.7. (Hardy et Stole, 2017)

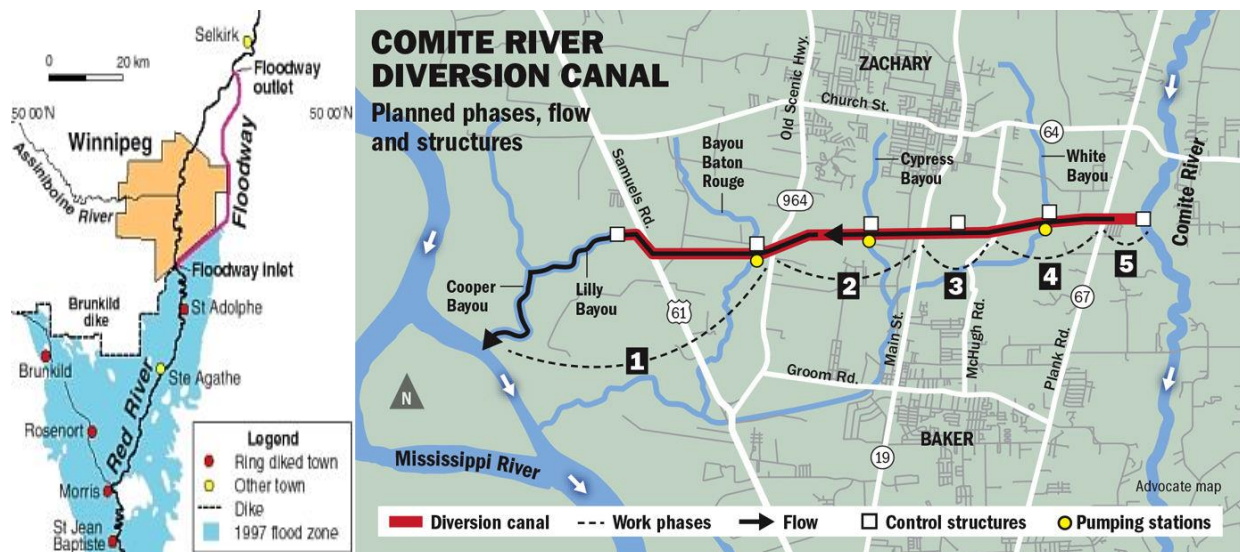


Figure 3.7 Exemple de dérivation vers une autre rivière plus adaptée en Louisiane et à Winnipeg (tiré de : Hardy et Stole, 2017 ; Earle, 2008)

Une autre façon d'interpréter le concept d'un canal de dérivation est l'utilisation de fossé plutôt que d'égouts pour évacuer l'eau des routes. Si l'eau demeure à la surface, elle peut être partiellement absorbée dans le sol et les restes ne contribuent pas au débordement des égouts en période de pluie. C'est une stratégie présentement employée dans les banlieues de Toronto qui amène l'eau vers le lac Ontario. Un risque de débordement est toujours présent, puisque le canal de dérivation ne sert pas uniquement à évacuer l'eau, mais contribue également à son drainage pour ainsi limiter et éviter une situation d'inondation. (TRCA, 2016)

3.5 Redressement du chenal



Figure 3.8 Rivière naturelle formée de méandres et une rivière redressée (tiré de : Deal, 2011, 8 avril)

Puisque la vitesse d'écoulement des eaux d'une rivière est directement proportionnelle à sa forme et la position de l'eau dans le chenal, une rivière droite transportera plus vite l'eau qu'une rivière courbée. L'écoulement se fait en ligne droite dans un circuit non interrompu ce qui permet à l'eau d'accumuler de la vitesse et d'évacuer la région plus rapidement. D'autres projets de même nature incluent l'élargissement des cours d'eau et l'évacuation des débris afin d'éliminer toute forme de résistance à l'écoulement. (ECCC, 2013)

Les projets de raidissement des chenaux peuvent être à petite ou à grande échelle. Un exemple à petite échelle peut inclure la modification de la forme d'une rivière à un endroit pour construire un pont ou un barrage (SNVC, 2015). À grande échelle, ces projets peuvent demander l'expropriation de certaines maisons et comme est présentement le cas dans les améliorations récentes de la rivière de Gatineau (Spears, 2015, 21 mai).

Pour effectuer ces travaux, les méandres de la rivière se font bloquer afin de forcer à l'eau de s'écouler plus rapidement sans devenir stagnante (Jackson, s. d.). Le fait d'augmenter la vitesse d'écoulement fait nécessairement accroître la capacité de l'eau d'éroder les berges, ce qui peut mener au développement de pentes instables et de glissements de terrain (SNVC, 2015). Si cette solution cause l'écoulement plus rapide dans la région où elle est mise en place, toutes les régions en aval seront assujetties à plus d'inondations (Jackson, s. d.).

Creuser une rivière altérée modifie des endroits naturels. Similairement, des endroits qui n'ont pas été inondés de façon permanente depuis de nombreuses années introduisent une quantité limitée, et renferment des produits chimiques dans l'eau. De plus, les écosystèmes présents depuis plusieurs années se font altérer par les actions de redressement des chenaux. (Ottawa Riverkeeper, 2017)

La technique a déjà été utilisée à plusieurs endroits dans les deux villes. Plusieurs ponts permettent l'accès entre les deux provinces et des projets de redressement ont été effectués dans certains circuits des rivières

Rideau, Gatineau, Mississippi et Nation Sud. Afin de pouvoir mettre en place des projets comme celui-ci, la forme de la rivière doit être considérée en plus des régions en bande riveraine qui seraient perturbées. La figure 3.9 montre cette complexité dans la région de la capitale.

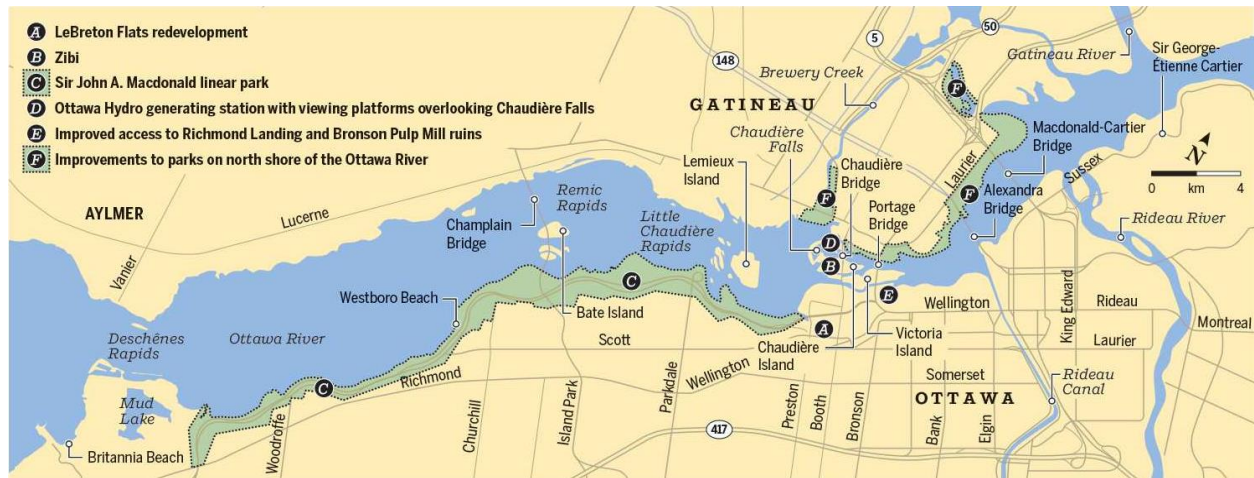


Figure 3.9 Carte de la rivière des Outaouais et des projets de la CCN aux centres-villes d'Ottawa et de Gatineau (tiré de : CCN, s. d.)

Dans ce scénario, redresser la rivière des Outaouais dans cette région serait impossible, car le projet détruirait des parcs et demanderait l'expropriation de plusieurs milliers de personnes dans le secteur Hull de Gatineau, présent à la pointe qui ressort sur la carte. Par définition, une rivière d'ordre dix, soit une grande rivière qui rejoint de nombreuses petites rivières possède un très grand débit. La rivière des Outaouais est un tel cours d'eau ce qui fait en sorte qu'elle serait très difficile à déplacer sans causer d'immenses inondations pendant la période de construction.

3.6 Adaptations structurelles



Figure 3.10 Méthodes de protection contre les inondations (tiré de : ECCC, 2013)

À une plus petite échelle, certaines adaptations structurelles peuvent être installées sur les bâtiments individuels pour les protéger d'une hausse des niveaux d'eau. La solution la plus efficace avec aucun effet

néfaste sur la bande riveraine est la relocalisation à un endroit plus éloigné du risque d'inondation (ECCC, 2013). Lorsque cela n'est pas une option ou que le propriétaire choisit de rester sur sa propriété, les technologies modernes peuvent être utilisées (CCN, s. d.).

Traditionnellement, les adaptations sont une réflexion du code de construction de l'année où le bâtiment fut construit et des adaptations effectuées lors de l'entretien de l'édifice (Feltmate, 2014, 2 juillet). Toutes les maisons avec des sous-sols sont munies de pompes à puisard pour évacuer les eaux souterraines qui remontent souvent au printemps. Par contre, si une inondation est suffisamment grande, elle peut causer des pannes électriques qui font cesser les pompes. La solution est une génératrice, mais elle fonctionne seulement dans un endroit sec ce qui peut entraîner de l'empoisonnement au monoxyde de carbone pour ceux qui tentent de l'utiliser dans leurs maisons. (Skura, 2017, 12 mai)

Aussi, progressivement plus de maisons ajoutent des soupapes de refoulement tout comme les nouvelles maisons pour éviter des dommages causés par des refoulements d'égouts (MAMOT, 2017b). Plusieurs maisons n'ont toutefois pas encore introduit ces technologies dans l'ancienne tuyauterie et rencontrent ces problèmes dès qu'une inondation suffisamment forte a lieu. Autrement, pour réduire les débordements d'égouts dans la rivière, la ville d'Ottawa crée un réservoir de stockage, mais il ne sera pas suffisamment grand si des événements pluviaux comme celui de 2017 continuent de se produire (Delamont, 2017, 7 novembre). L'eau contaminée aux matières fécales qui atteint l'extérieur du bâtiment peut mener à des blooms bactériens inaperçus et avoir autant d'effets néfastes que les refoulements. Une recommandation du maire de Clarence-Rockland est de réduire la consommation en eau afin de réduire le volume d'eau qui déborde (*Ottawa River full of untreated sewage during May flooding*, 2017, 10 mai).

Une stratégie employée à grande échelle dans les prairies est de créer une butte imperméable sur laquelle la maison est construite. Cette pente est suffisante pour évacuer l'eau de la maison et permettre une certaine levée des eaux de la rivière sans subir de problèmes autre que l'accès. (City of Edmonton, 2017) D'autres méthodes incluent des systèmes de drainage qui contournent la maison, des barrages gonflables et des digues en sacs de sable (City of Winnipeg, 2004). Des méthodes existent également pour rendre imperméables les murs, mais toutes requièrent des mises à jour technologiques dans les anciennes maisons (Commission européenne, 2003).

Aujourd'hui, une interdiction existe pour empêcher la construction de nouvelles maisons avec des ouvertures, soit des portes ou des fenêtres, sous le niveau de la crue des 100 ans. Il est aussi fortement encouragé que les personnes qui construisent dans ces milieux bâtissent sans sous-sols afin de limiter les dommages possibles en cas d'inondation. (MAMOT, 2017b)

Ces solutions sont très bonnes, mais les codes de constructions changent toutes les années et les coûts de mises à jour reviennent aux propriétaires (City of Winnipeg, 2004). Des travaux de cette nature sont trop dispendieux pour être effectué à toutes les années pour la plupart des individus qui habitent dans ces régions alors plusieurs maisons demeurent sans protection.

National Flood Protection (NFP) est un organisme présentement localisé à Toronto qui tente d'uniformiser ces méthodes. Il tente présentement d'obtenir un statut légal sur l'échelle nationale afin de rendre obligatoires les soupapes de refoulement et les alarmes avec un lien aux services d'urgences et d'assurances en cas d'inondations. Cette initiative est une première étape dans l'uniformité des moyens de gestion des inondations au pays en régions urbaines à l'échelle des maisons individuelles. (National Flood Prevention, 2017)

3.7 Évacuer la plaine inondable



Figure 3.11 Plaine inondable naturelle à proximité d'une ville (tiré de : Le, 2016, 28 mars)

Une des méthodes les plus certaines pour éviter les inondations et les dommages qu'elles peuvent entraîner est de libérer la plaine inondable. Si personne n'habite ou ne doit conduire dans une région inondée, quels sont les dommages réels? Personne ne doit quitter leurs logements s'ils ne sont pas construits dans une région inondée et l'eau n'a pas à être retenue dans les régions en amont. (Jackson, s. d.)

De plus, si une bande riveraine n'est pas altérée de son état naturel, elles peuvent servir de parc public où tous peuvent l'apprécier (Jackson, s. d.). C'est l'approche préventive qu'utilise présentement la ville de Toronto afin de restaurer l'équilibre hydraulique naturel le long du lac Ontario. En plus de limiter les inondations, les bandes riveraines peuvent être remédiée pour réduire l'érosion et restaurer la biodiversité. (TRCA, 2016)

Près de 90 % des espèces d'un système riverain ont besoin des plaines inondables à leur état naturel dans leur cycle de vie (Ottawa Riverkeeper, 2017). La plaine inondable à son état naturel possède également une capacité d'infiltration qui peut, à la fois, aider à réduire l'intensité maximale des inondations et aider en situation de sécheresse (Romero-Lankao et al., 2014). Les vitesses d'écoulement sont réduites à ces endroits, alors moins d'érosion se produit et le risque de glissement de terrain qu'elle entraîne est également réparti sur une plus longue période de temps (Ottawa Riverkeeper, 2017).

Puisque les rivières forment un système dynamique d'écoulement des eaux, les plaines inondables ont changé depuis la dernière mise à jour des cartes dans plusieurs régions. De plus, les changements climatiques intensifient les événements pluviaux (Delamont, 2017, 7 novembre) et doivent être considérés dans la mise à jour des plaines (*Ottawa River full of untreated sewage during May flooding*, 2017, 10 mai). Si ces facteurs peuvent être rencontrés, l'assurance inondation pourra possiblement être obtenue (IBC, 2015). L'éducation du public quant aux effets des développements en plaine inondable a le potentiel d'aider à la libérer ou à la préserver. Si les personnes connaissent les risques et les effets qu'ils créent en étant présent dans ces milieux, certains d'entre eux pourront aider et réduire les coûts de libérer la plaine inondable. (ESchoolToday, 2017)

Mettre en place cette solution sera impossible sans vider les constructions humaines et les personnes qui habitent dans ces milieux (Jackson, s. d.). Le problème est que les propriétaires ne veulent pas quitter leurs logements où ils ont un accès privé à la rivière (Pearson, 2007). De plus, puisque les municipalités peuvent profiter des impôts fonciers et que le fédéral rembourse les dommages en situation de crise, elles n'ont aucune motivation pour écouter les conseils des gouvernements et modifier leurs règles de zonage (Zimonjic et al., 2017, 9 mai). L'ECCC conseille aux municipalités d'acheter les propriétés et de relocaliser les structures (ECCC, 2013) et le MAMOT a créé une loi pour interdire la reconstruction en plaines inondables (*Some Gatineau homeowners in flood zone will not be allowed to rebuild*, 2017, 24 mai; MAMOT, 2017a). Par la suite, le maire de Gatineau a trouvé un moyen de permettre aux citoyens de rester chez eux par la demande d'une permission de reconstruction spécifique au milieu urbain (Pedneaud-Jobin, 2017, 7 juillet).

Aucun progrès vers cette solution ne sera possible tant qu'aucune contrainte légale de la part des gouvernements provinciaux et fédéral ne sera mise en place à cet effet (ABV des 7, 2014). La ville de Winnipeg a démontré que ce type d'entente est possible en 1991 lorsqu'elle a signé le *City of Winnipeg Act* avec la province du Manitoba et le gouvernement fédéral du Canada. Depuis, plus personne n'habite sur les plaines inondables et la ville de Winnipeg reçoit du financement pour la mise en œuvre de projets pour réduire les inondations de la rivière Rouge (City of Winnipeg, 2004). Les villes ont donc une

décision à prendre : vaut-il la peine de protéger les citoyens sur la plaine inondable aux coûts des autres? (Komarnicki, 2013, 5 octobre) Sinon, les plans d'urbanisme doivent être révisés (Ireton, 2017, 14 mai).

3.8 Restauration des milieux naturels



Figure 3.12 Milieu humide restauré par Canards Illimités (tiré de : DUC, 2017)

La restauration des endroits naturels comporte trois types de milieux généraux qui peuvent être améliorés. Ce sont les lacs et rivières, les milieux humides ainsi que les sites terrestres. Tous sont des moyens naturels à faibles coûts qui servent à réduire les impacts des petites et moyennes inondations dans une région donnée et en aval. De plus, ces méthodes contribuent à la restauration de la fertilité des sols et des habitats naturels. (Jackson, s. d.)

Enlevez les barrages et les structures de protection contre les inondations afin de permettre aux eaux de reprendre des cycles naturels où les grosses inondations ne se produisent que rarement (Jackson, s. d.). Les procédés naturels requièrent des inondations pour la survie des espèces naturelles comme les poissons, les oiseaux, les chevreuils et les marmottes (*Wildlife spotted in unusual areas as flood waters push creatures out of homes*, 2017, 13 mai). Cette stratégie aiderait à promouvoir la pêche sportive et aiderait aux jardiniers en permettant aux rongeurs de retourner à leurs habitats naturels. Par contre, la restauration d'une rivière n'est pas possible tout en conservant les ponts et la protection contre les petites inondations (Jackson, s. d.). Alors, d'autres types de milieux naturels doivent être considérés.

Une solution similaire est la restauration des milieux humides en centres urbains (Beeby, 2014, 4 juin). Ces sites permettent le stockage de grands volumes d'eau ce qui réduit la quantité totale d'eau déchargée dans la rivière (Jackson, s. d.). Par conséquent, ils réduisent les inondations en aval tout en contribuant à une hausse de la qualité de l'eau et des habitats naturels.

Il est bien connu que la protection des écosystèmes sensibles comme ceux-ci peut aider au contrôle des petites et moyennes inondations (CO, 2013a). Alors, combinées avec d'autres mesures de prévention elles seraient très efficaces. Une étude d'*Intact Centre on Climate Adaptation (ICCA)* de l'université de

Waterloo a établi que la présence de milieux humides en centres urbains peut mener à une réduction de 38 % des dépenses en AAFCC (Moudrak, Hutter et Feltmate, 2017). Par contre, ces milieux ne sont pas appréciés par la majorité de la population, car ils permettent la croissance d'insectes et enlèvent de l'espace qui pourrait autrement être utilisé pour autre chose (Jackson, s. d.).

Finalement, l'afforestation, soit la stratégie de planter des arbres dans le bassin de la rivière est une stratégie commune pour intercepter l'eau qui s'écroule des terrains. Les terres adjacentes à la rivière sont assujetties à moins d'érosion et les plantes sont capables de stocker de l'eau et éliminer certains polluants. Cette stratégie n'est pas aussi efficace que la restauration des milieux humides, mais est mieux adaptée à une petite échelle. Elle est plus efficace sur un grand territoire naturalisé, mais peut également être employée comme zone riparienne, soit une zone tampon entre la rivière et les autres activités. (Jackson, s. d.)

La végétation est reconnue comme agent naturel pour limiter l'érosion et de là le risque de glissements de terrain (ESchoolToday, 2017). La méthode requiert peu ou pas d'entretien et permet de stocker l'eau dans les sols libres et les plantes (Figure 3.13) plutôt que lui permettre de s'écouler sur du béton (Commission européenne, 2003). La solution permet non seulement de réduire l'intensité des inondations, mais crée un équilibre hydraulique naturel. Le fait d'avoir moins d'écoulement d'eau de surface limite la quantité d'eau retrouvée dans les égouts alors, moins de débordements (TRCA, 2016).

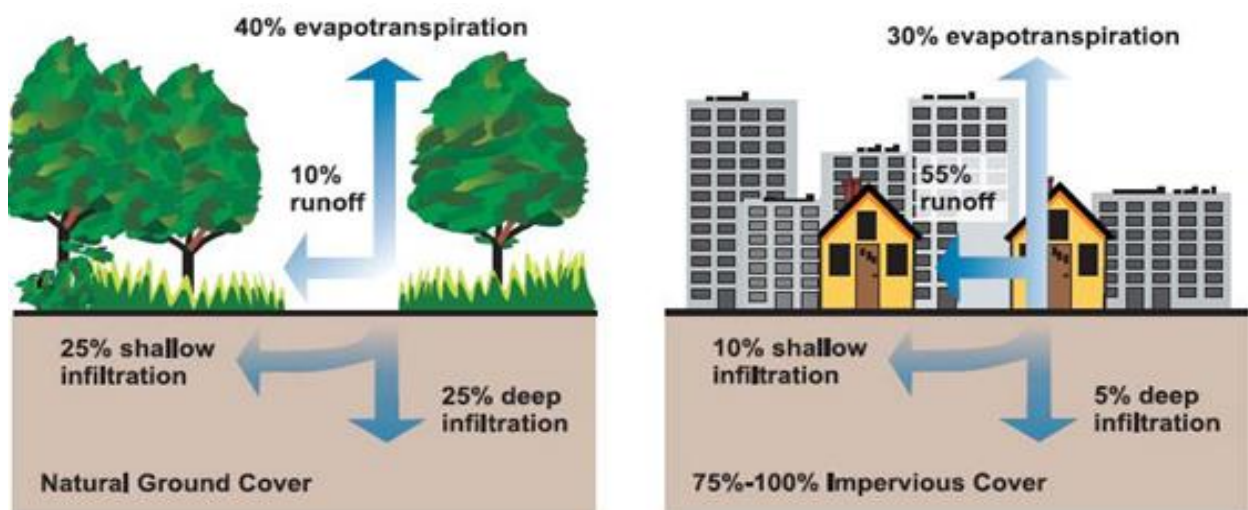


Figure 3.13 Possibilités de réduction des inondations par la présence d'espace vert (tiré de : TRCA, 2016)

En Ontario, ce sont les autorités de la conservation qui ont la responsabilité de protéger et restaurer les milieux naturels (CO, 2010), mais ils n'ont aucun pouvoir sans le soutien de la municipalité. À Gatineau, l'ABV des 7 occupe ce rôle et rencontre les mêmes problématiques (ABV des 7, 2014). Les deux villes

ont donc pris des initiatives par elles-mêmes afin d'un jour se diriger vers la restauration des milieux naturels en zone urbaine.

En 2015, la ville de Gatineau a signé une déclaration de leurs intentions de protéger la rivière des Outaouais et les milieux naturels qui l'entourent (Ottawa Riverkeeper, 2017). Ottawa a pris une direction différente et s'est engagée à une étude du ICCA pour enlever 250 m² d'asphalte au centre-ville afin de laisser infiltrer l'eau dans le sol (Beeby, 2014, 4 juin). Des surfaces imperméables comme l'asphalte, le ciment et le béton empêchent la recharge des aquifères et entraînent l'assèchement des milieux humides en plus de problèmes structuraux dus à l'effondrement des parterres (Fortin et Poulain, 2013).

Pour les régions dans lesquelles l'espace requis pour ces milieux naturels est limité, d'autres solutions sont disponibles. Ces stratégies simples incluent les toits verts, les parcs municipaux ainsi que les stationnements construits en matériaux poreux, dont le gravier ou les briques. Les rigoles de drainage peuvent également servir de réservoirs de collecte des eaux de pluie qui retiennent les surplus d'eau. Si les eaux sont réutilisées, elles ont le potentiel de réduire la charge des égouts en période d'inondation. (Beeby, 2014, 4 juin)

4. ANALYSE MULTICRITÈRE

Toutes ces méthodes sont des stratégies communes utilisées pour gérer les eaux d'inondations ailleurs dans le pays et dans le monde. Elles pourraient toutes plus ou moins être mises en place efficacement dans la région en question, mais ce ne serait pas toutes des solutions bien adaptées. Certaines d'entre elles sont mieux adaptées à la région que les autres. C'est pourquoi une approche comparative, une analyse multicritère dans ce cas, est justifiée afin de déterminer quelle est la meilleure solution pour la région.

Quatorze critères d'évaluation ont été identifiés pour comparer les aspects politiques, sociaux, culturels, environnementaux et technologiques des sept solutions détaillées plus haut. Ces critères, présentés au tableau 4.1 de la page suivante, sont évalués pour chaque solution en fonction des résultats sur une échelle numérique qui passe de très mauvais à très bon. Si les impacts sont non altérés ou absents pour la mise en place de la solution, ils sont classifiés comme effets neutre, d'une valeur de zéro. Les impacts modérés, mais notables sont soit bons ou mauvais tandis que les impacts sévères sont considérés soit très bons ou très mauvais.

Le rôle de cette évaluation des critères est de permettre la mise en place d'une valeur numérique pour quantifier l'impact des solutions sur les différentes sphères considérées. Afin de mettre en évidence l'importance des facteurs, ils sont également pondérés selon les priorités des deux villes. Ceci ajoute de la valeur aux données numériques en mettant l'emphasis sur les principes qui sont de plus grandes priorités pour la ville.

Tableau 4.1 Description des critères d'évaluations et de la méthode d'évaluation

Critère d'évaluation	Très mauvais	Mauvais	Neutre	Bon	Très bon	Pond.
Applicabilité						
<u>Application à Gatineau</u> (culturel) : Niveau auquel la solution peut être mise en place dans la ville de Gatineau et au Québec	-2	-1	0	1	2	2
<u>Application à Ottawa</u> (culturel) : Niveau auquel la solution peut être mise en place dans la ville d'Ottawa et en Ontario	-2	-1	0	1	2	2
<u>Possibilité de coopération</u> (politique) : Est-il nécessaire d'avoir de la coopération entre les deux provinces et à quel niveau est-ce possible de l'avoir?	-2	-1	0	1	2	1

Tableau 4.1 Description des critères d'évaluations et de la méthode d'évaluation (suite)

Critère d'évaluation	Très mauvais	Mauvais	Neutre	Bon	Très bon	Pond.
Facteurs humains						
<u>Conséquences en amont</u> : Comment les conditions d'inondation sont-elles altérées dans les villes et villages en amont du système riverain?	-2	-1	0	1	2	1
<u>Conséquences en aval</u> : Comment les conditions d'inondation sont-elles altérées dans les villes et villages en aval du système riverain?	-2	-1	0	1	2	1
<u>Préviens une inondation</u> : À quel niveau la solution est-elle efficace à réduire les niveaux d'eau?	-2	-1	0	1	2	3
Coûts						
<u>Coûts associés</u> : Niveau auquel la municipalité peut financer la solution sans aide gouvernementale	-2	-1	0	1	2	3
Conséquences sur les milieux naturels						
<u>Conséquences écologiques</u> : La solution apportera-t-elle de l'opposition des groupes environnementaux?	-2	-1	0	1	2	2
<u>Sécheresse</u> : Comment la solution sera-t-elle efficace lors des années de sécheresse où il manque d'eau dans le système?	-2	-1	0	1	2	2
<u>Érosion / glissements de terrain</u> : Niveau auquel l'érosion et les risques de glissements de terrain sont modifiés par la solution	-2	-1	0	1	2	2
<u>Qualité de l'eau</u> : Effets de la solution sur la qualité de l'eau dans le bassin versant	-2	-1	0	1	2	1

Tableau 4.1 Description des critères d'évaluations et de la méthode d'évaluation (suite)

Critère d'évaluation	Très mauvais	Mauvais	Neutre	Bon	Très bon	Pond.
Opinion long terme						
<u>Citoyens / public</u> : Probabilité d'obtenir le soutien du public pour la mise en place de la solution	-2	-1	0	1	2	2
<u>Dommages en hiver</u> : La solution est-elle adaptée aux hivers canadiens? Quel niveau de réparations sera requis au printemps?	-2	-1	0	1	2	2
<u>Adaptation aux changements climatiques</u> : Niveau auquel la solution est adaptée aux changements qui surviendront dans un futur proche	-2	-1	0	1	2	3

Chaque solution répond différemment aux critères identifiés alors évaluer indépendamment l'une de l'autre devient primordial. En déterminant une valeur numérique pour chaque critère, une possibilité existe pour déterminer quelle est la meilleure solution à appliquer dans cette région. Les tableaux 4.2 à 4.8, présentés dans les pages qui suivent, font ressortir les éléments clés de l'application des solutions afin de pouvoir évaluer chaque critère individuellement.

Chaque solution du chapitre précédent est évaluée individuellement selon les douze critères définis précédemment. Les critères similaires sont regroupés de sorte à les évaluer de façon comparative. Ces catégories sont les suivantes :

- L'applicabilité selon la situation légale et géographique de Gatineau et d'Ottawa ainsi que l'habilité de ces deux de coopérer pour installer la situation au besoin.
- Le facteur humain, soit les conséquences d'inondations sur la région en question et des communautés adjacentes.
- Les coûts aux municipalités
- Les conséquences sur les milieux naturels soient écologiques, érosives ou polluantes en plus des conséquences sur les conditions sèches.
- L'opinion publique et l'applicabilité à long terme considérant les conditions hivernales et les changements climatiques.

Tableau 4.2 Les barrages comme solution aux inondations

De nombreux barrages existent dans les deux provinces sans avoir besoin de collaboration entre les villes pour les employer.			
Applicabilité	Application à Gatineau	Très bon	4
	Application à Ottawa	Très bon	4
	Possibilité de coopération	Neutre	0
Par l'action de retenir les eaux, la situation de crise est réduite dans les régions en aval de la ville, puisque moins d'eau s'écoule. Les régions en amont se retrouvent dans une situation pire que celle du départ. La solution est capable de réduire l'intensité des petites et moyennes inondations, mais n'a aucun effet sur les grandes inondations.			
Facteur humain	Conséquences en amont	Très mauvais	-2
	Conséquences en aval	Bon	1
	Prévient une inondation	Bon	3
Les barrages sont des structures de taille importante avec des coûts élevés qui sont généralement justifiés par le potentiel de profits grâce à la production énergétique. Par contre, une abondance de barrages sont présents dans le cours d'eau actuellement alors le fait d'en construire davantage pourra réduire la vitesse d'écoulement des eaux et engendrer des pertes économiques.			
Coûts	Coûts associés	Mauvais	-3
Cette solution mène à des pertes d'habitats sévères et l'apport par le cours d'eau de tous les produits chimiques dans les régions inondées. En plus, l'érosion augmente et le risque de glissements de terrain. Par ailleurs, puisque les volumes d'eau peuvent être entreposés dans les réservoirs, les sécheresses sont moins importantes là où sont situés les barrages.			
Conséquences sur le milieu naturel	Conséquences écologiques	Très mauvais	-4
	Sécheresse	Très bon	4
	Érosion / glissements de terrain	Mauvais	-2
	Qualité de l'eau	Très mauvais	-2
Puisque les barrages sont présents dans nos rivières depuis plus de 100 ans, ils sont généralement acceptés par le public. Comme toute structure, ils sont assujettis à des dommages potentiels en hiver, mais sont généralement acceptés comme une solution potentielle aux effets des changements climatiques.			
Opinion long terme	Citoyens / public	Neutre	0
	Domages en hiver	Mauvais	-2
	Adaptation aux changements climatiques	Bon	3
Les barrages sont une excellente solution, mais sans en ajouter davantage. La meilleure stratégie serait d'optimiser les opérations des barrages actuels pour qu'ils soient plus efficaces.			

Tableau 4.3 Les digues et levées évaluées selon les critères d'évaluation

<p>Les digues sont essentiellement des levées situées des deux côtés d'une rivière. Puisque les deux villes ont une berge, de la coopération entre les deux est fondamentale pour introduire cette solution. La plupart des régions situées le long de la rivière des Outaouais sont des propriétés privées alors la ville ne peut pas créer de projets de construction sans obtenir le consensus des citoyens. Puisqu'une grande partie de la berge de Gatineau est développée, la probabilité de pouvoir mettre en place cette solution réduit davantage dans cette région.</p>			
Applicabilité	Application à Gatineau	Très mauvais	-4
	Application à Ottawa	Mauvais	-2
	Possibilité de coopération	Très mauvais	-2
<p>Les digues permettent de drainer les eaux plus rapidement sans qu'elle déborde dans la ville. Alors, les régions en amont ont un avantage, mais les eaux ralentissent de nouveau en aval et il existe donc un risque d'aggraver la situation.</p>			
Facteur humain	Conséquences en amont	Très bon	2
	Conséquences en aval	Très mauvais	-2
	Préviens une inondation	Bon	3
<p>Comme toute construction humaine, la construction de digues implique des coûts élevés selon la hauteur et la longueur désirée. Elles sont moins exigeantes que la construction de barrages, mais n'offrent pas de retours.</p>			
Coûts	Coûts associés	Mauvais	-3
<p>Les digues sont également responsables d'une destruction totale de la plaine inondable naturelle et de la biodiversité qu'elle supporte. En années de sécheresses, il est impossible d'enlever des digues permanentes alors l'eau se fait perdre plus rapidement. Similairement, sans inondations les eaux et les sols perdent des minéraux et sont assujettis à une baisse de qualité. D'ailleurs, puisque des murs protègent la bande riveraine, les risques d'érosion sont réduits.</p>			
Conséquences sur le milieu naturel	Conséquences écologiques	Très mauvais	-4
	Sécheresse	Mauvais	-2
	Érosion / glissements de terrain	Très bon	4
	Qualité de l'eau	Mauvais	-1
<p>La solution est une très bonne option pour tous ceux qui habitent dans la plaine inondable et qui n'ont pas accès direct à la rivière, mais demandera également l'expropriation de plusieurs et une perte d'accès à l'eau. Une digue doit être régulièrement entretenue, mais seulement une portion des dommages peut être attribuée à l'hiver. C'est une solution généralement adaptée aux changements climatiques.</p>			
Opinion long terme	Citoyens / public	Mauvais	-2
	Domages en hiver	Mauvais	-2
	Adaptation aux changements climatiques	Bon	3
<p>Les digues ne pourront jamais être mises en place sans que la plaine inondable soit évacuée alors ce n'est pas une solution en ce moment.</p>			

Tableau 4.4 Le canal de dérivation évalué comme solution aux inondations

Le canal de dérivation est une façon de limiter la quantité d'eau dans le système, mais il ne peut pas être appliqué dans une région montagneuse comme les collines de Gatineau. Construire des longs canaux devient également très difficile si l'eau doit contourner Ottawa. Puisque la rivière divise les deux villes, de la coopération n'est pas nécessaire pour cette solution.			
Applicabilité	Application à Gatineau	Très mauvais	-4
	Application à Ottawa	Mauvais	-2
	Possibilité de coopération	Neutre	0
Un canal de dérivation n'aura aucun impact sur le débit des eaux soit en amont ou en aval, mais pose une protection efficace dans la région où il est construit.			
Facteur humain	Conséquences en amont	Neutre	0
	Conséquences en aval	Neutre	0
	Prévient une inondation	Très bon	6
Le plus de distance que doit parcourir le canal fait augmenter les coûts d'installation. Un canal souterrain coûte encore plus et ne reçoit pas les apports d'eau de pluie.			
Coûts	Coûts associés	Très mauvais	-6
Un canal construit sur une plus longue distance crée une quantité phénoménale de perturbations au milieu naturel. L'eau est partiellement déviée alors moins d'eau est présente en situation de sécheresses et de l'érosion est introduite dans un nouveau milieu qui a été hors de la plaine inondable pendant plusieurs années. Des minéraux sont alors introduits au cours d'eau et des risques plus élevés de glissements de terrain. Ce sont les mêmes procédés que l'inondation d'un endroit pour la construction d'un barrage.			
Conséquences sur le milieu naturel	Conséquences écologiques	Très mauvais	-4
	Sécheresse	Mauvais	-2
	Érosion / glissements de terrain	Très mauvais	-4
	Qualité de l'eau	Mauvais	-1
Le seul endroit où un canal de dérivation pourrait être introduit est dans la ceinture de verdure d'Ottawa ou dans le parc de la Gatineau. Malgré le fait que très peu d'habitations sont établies dans cette région, c'est un parc que plusieurs fréquentent et qui permet à la ville de protéger le 15 % d'habitats naturels demandés pour être considérés comme une ville verte.			
Opinion	Citoyens / public	Très mauvais	-4
Le canal ne demande pas de constructions physiques alors aucun dommage ne se produirait pendant la saison hivernale. C'est également considéré comme une stratégie de gestion des eaux adaptées aux changements climatiques.			
Long terme	Dommages en hiver	Bon	2
	Adaptation aux changements climatiques	Bon	3
Le canal est une bonne option, mais pas dans le cas de cette région. La distance qu'il devrait parcourir et les coûts sociaux et financiers sont trop élevés.			

Tableau 4.5 Le redressement du chenal de la rivière des Outaouais à la traversée des deux centres-villes			
Afin de redresser la rivière des Outaouais et son parcours au travers de la ville, presque toute la pointe Aylmer doit être éliminée, et un nouveau chenal creusé à sa place. La solution affecterait tous les commerces que les citoyens traversent la rivière pour obtenir. De plus, les infrastructures telles que les ponts et les usines d'épuration devraient se déplacer pour s'ajuster au nouvel emplacement de la rivière.			
Applicabilité	Application à Gatineau	Très mauvais	-4
	Application à Ottawa	Neutre	0
	Possibilité de coopération	Neutre	0
Puisque l'eau circule plus vite, cette solution peut aider à prévenir des inondations dans la ville et les régions en amont, mais causerait des inondations plus sévères en aval, notamment à Montréal.			
Facteur humain	Conséquences en amont	Bon	1
	Conséquences en aval	Très mauvais	-2
	Préviens une inondation	Bon	3
Afin d'être introduit, le chenal doit être creusé plus profondément, et plusieurs personnes et commerces doivent être expropriés. De plus, des nouveaux ponts interprovinciaux sont nécessaires pour traverser la rivière à son nouveau site. Les dépenses seraient énormes pour un projet de cette magnitude.			
Coûts	Coûts associés	Très mauvais	-6
Similairement aux digues, le redressement de la rivière modifie les milieux naturels et limite la quantité d'eau disponible en périodes de sécheresse. Comme les canaux de dérivation, l'érosion est amplifiée dans ce nouveau milieu et des matériaux externes sont introduits qui font diminuer la qualité des eaux.			
Conséquences sur le milieu naturel	Conséquences écologiques	Très mauvais	-4
	Sécheresse	Mauvais	-2
	Érosion / glissements de terrain	Très mauvais	-4
	Qualité de l'eau	Mauvais	-1
Puisque cette solution requiert l'élimination d'un quartier résidentiel complet présent sur l'île d'Aylmer, les coûts seraient extrêmes pour tous ceux qui habitent ou travaillent dans ce quartier. Les coûts sociaux pourraient s'étendre jusqu'aux autres quartiers des deux villes qui perdront du commerce.			
Opinion	Citoyens / public	Très mauvais	-4
Puisque cette solution ne requiert aucune structure, elle ne sera pas endommagée en hiver et les coûts d'entretien seraient alors plus bas. Malgré le fait que ce n'est pas une solution appuyée par les groupes de protection des bassins versants, elle ne causera pas plus de problèmes avec les climats qui changent.			
Long terme	Domages en hiver	Bon	2
	Adaptation aux changements climatiques	Neutre	0
C'est une bonne solution, mais elle n'est pas adaptée à cette ville, car la forme du chenal a été incorporée dans le développement de la ville et de ces infrastructures. Modifier cette forme causerait la réévaluation de toutes les infrastructures municipales et plus de problèmes qu'elle ne peut résoudre.			

Tableau 4.6 Les adaptations structurelles en tant que solution aux inondations

Les adaptations structurelles sont des solutions que les citoyens peuvent mettre en place afin de limiter les problèmes potentiels auxquels ils pourraient faire face. Ces solutions sont encouragées au travers du pays et dans les deux villes actuellement. Puisque ce sont des solutions individuelles, aucune collaboration n'est nécessaire entre les deux provinces.			
Applicabilité	Application à Gatineau	Très bon	4
	Application à Ottawa	Très bon	4
	Possibilité de coopération	Neutre	0
Les solutions sont limitées à la maison alors qu'elles n'ont aucun impact sur l'écoulement des eaux. Si elles sont appliquées correctement, elles peuvent protéger la maison de certains effets des inondations. Par contre, seulement les maisons avec cette protection seront épargnées.			
Facteur humain	Conséquences en amont	Neutre	0
	Conséquences en aval	Neutre	0
	Prévient une inondation	Bon	3
Comparativement aux autres solutions analysées, les adaptations structurelles sont peu coûteuses, mais les dépenses retombent sur les individus. Alors, pour plusieurs, les mises à jour sont repoussées dans le but de faire plusieurs rénovations en un seul coup pour réduire les prix.			
Coûts	Coûts associés	Mauvais	-3
Ces solutions ne modifient en aucun sens l'environnement alors leurs conséquences sont nulles, car elles ne sont ni favorables ni défavorables.			
Conséquences sur le milieu naturel	Conséquences écologiques	Neutre	0
	Sécheresse	Neutre	0
	Érosion / glissements de terrain	Neutre	0
	Qualité de l'eau	Neutre	0
Puisque la responsabilité est aux citoyens de mettre en place ces pratiques, ce sont eux qui doivent effectuer l'installation. Si la ville détermine que ces mesures sont désormais obligatoires, il devra également effectuer les réparations suite aux dommages si ces pratiques ne sont pas installées.			
Opinion	Citoyens / public	Mauvais	-2
Comme toute construction humaine, les adaptations structurelles sont assujetties aux effets du climat et doivent être inspectées régulièrement. D'ailleurs, la solution met un accent sur l'importance des individus dans une solution aux inondations.			
Long terme	Dommages en hiver	Mauvais	-2
	Adaptation aux changements climatiques	Neutre	0
Cette solution est efficace pour aider à la gestion des eaux d'inondations, mais démontre quelques difficultés comparables aux barrages. Ce sont définitivement des mesures à considérer à long terme.			

Tableau 4.7 Évacuer la plaine inondable évaluée comme solution

Le concept d'évacuer la plaine inondable fonctionne mieux lorsque très peu de personnes sont établies dans cette zone. Elle requiert des cartes mises à jour pour délimiter la zone inondable. Ni Gatineau ou Ottawa est prêt à faire évacuer ses plaines inondables et si une ville tente de mettre en place cette solution sans l'autre, les citoyens vont se relocaliser dans la province qui leur permet de vivre plus près de l'eau.			
Applicabilité	Application à Gatineau	Mauvais	-2
	Application à Ottawa	Mauvais	-2
	Possibilité de coopération	Neutre	0
Sans construction en zone inondable, l'eau n'est pas retenue en amont et la végétation capte une partie des eaux supplémentaires qui s'écoulent en aval. Sans constructions, les inondations ne posent plus de risque.			
Facteur humain	Conséquences en amont	Bon	1
	Conséquences en aval	Bon	1
	Prévient une inondation	Bon	3
Cette solution demande la relocalisation de nombreux bâtiments publics, de plusieurs routes et de certains édifices gouvernementaux localisés dans cette zone. La municipalité aura également à offrir un montant fixe de relocalisation pour inciter toutes les personnes qui habitent en plaine inondable de déménager. Au total, les coûts requis pour mettre en place cette solution sont extrêmement élevés, possiblement trop pour justifier cette solution selon la viabilité de la ville.			
Coûts	Coûts associés	Très mauvais	-6
D'un autre point de vue, le fait de restaurer la plaine inondable en tant que milieu naturel est une solution qui entraîne des conséquences écologiques positives. Un milieu non altéré permet de ralentir l'écoulement de l'eau qui aide en tant de sécheresse et limite sa capacité d'érosion. C'est une solution naturelle qui n'introduit aucune substance dans l'eau, mais n'aide toutefois pas à les éliminer s'il y en a.			
Conséquences sur le milieu naturel	Conséquences écologiques	Très bon	4
	Sécheresse	Très bon	4
	Érosion / glissements de terrain	Très bon	4
	Qualité de l'eau	Neutre	0
La relocalisation cause des soucis pour plusieurs citoyens et la fermeture de routes sera très probablement responsable de plusieurs bouchons de circulation pour tous qui tentent de traverser un pont interprovincial. D'ailleurs, le fait de n'avoir aucune structure dans la région limite les dommages possibles à la fonte des glaces. C'est la solution principale suggérée comme moyen d'adaptation aux changements climatiques.			
Opinion long terme	Citoyens / public	Très mauvais	-4
	Dommages en hiver	Très bon	4
	Adaptation aux changements climatiques	Très bon	6
Si ce n'était pour les coûts aux citoyens, ce serait la solution idéale. Elle peut être mise en place, mais pas à court terme. Plusieurs années sont requises pour permettre aux municipalités de mettre en place cette solution.			

Tableau 4.8 Restaurer les milieux naturels, soit les sols exposés, les milieux humides, les sites forestiers et d'autres milieux de verdure.			
Depuis l'entrée en vigueur de la réglementation fédérale sur les espaces naturels en centre urbain, les deux villes tentent de protéger le minimum requis de 15 % d'espaces naturels dans leurs villes. Leur demander d'augmenter cette valeur sera difficile, mais est tout à fait possible selon la stratégie actuelle.			
Applicabilité	Application à Gatineau	Bon	2
	Application à Ottawa	Bon	2
	Possibilité de coopération	Neutre	0
Puisque cette solution ne fait rien pour changer l'écoulement de l'eau dans la rivière, les débits seront inchangés en amont. D'ailleurs, elle permet d'augmenter la quantité d'eau qui s'infiltre dans le sol alors, le débit qui traverse la ville et qui se rend en aval est réduit et, par conséquent, les inondations aussi.			
Facteur humain	Conséquences en amont	Neutre	0
	Conséquences en aval	Bon	1
	Préviens une inondation	Bon	3
Ce type de projet ne requiert pas le déplacement de constructions humaines et peut être subventionné par de nombreuses entités non gouvernementales. Alors, la ville investit du temps, mais très peu d'argent dans la mise en place de cette solution.			
Coûts	Coûts associés	Très bon	6
Les espaces naturels, peu importe leur taille, sont importants pour les espèces vivantes. L'infiltration de l'eau supplémentaire permet d'aider en situation de sécheresses et réduit l'érosion des berges par de l'eau qui ne s'infiltre pas. Elle peut même filtrer l'eau afin d'enlever certains des contaminants amassés en amont. Par contre, le fait de permettre l'eau de s'infiltre dans des sols instables augmente le risque de glissements de terrains et d'engouffrements du sol.			
Conséquences sur le milieu naturel	Conséquences écologiques	Très bon	4
	Sécheresse	Très bon	4
	Érosion / glissements de terrain	Bon	2
	Qualité de l'eau	Très bon	2
D'un côté, plusieurs citoyens s'opposent à ces projets, surtout quand ils impliquent la perte de terres agricoles ou industrielles. De l'autre, une fois transformés en milieux naturels, les espaces servent de sorties en familles et sont disponibles pour certains qui appuient la création de ces espaces. Ce sont surtout des milieux qui peuvent se rétablir par eux-mêmes suite à un hiver difficile et effectivement une méthode appuyée par plusieurs spécialistes en changements climatiques.			
Opinion long terme	Citoyens / public	Neutre	0
	Dommages en hiver	Bon	2
	Adaptation aux changements climatiques	Bon	3
Cette méthode est idéale pour la région en question et peut servir comme solution à long et court terme.			

Afin de mieux comparer les résultats, ils sont assemblés au tableau 4.9 ci-dessous pour obtenir des totaux et par la suite, la meilleure solution pour la région de la capitale nationale.

Tableau 4.9 Résultats de l'évaluation des critères d'analyse

Critère d'évaluation	Barrages	Digues et levées	Dérivation	Redressement	Adaptations structurelles	Plaine inondable	Milieux naturels
Gatineau	4	-4	-4	-4	4	-2	2
Ottawa	4	-2	-2	0	4	-2	2
Coopération	0	-2	0	0	0	0	0
Amont	-2	2	0	1	0	1	0
Aval	1	-2	0	-2	0	1	1
Inondation	3	3	6	3	3	3	3
Coûts	-3	-3	-6	-6	-3	-6	6
Écologie	-4	-4	-4	-4	0	4	4
Sécheresse	4	-2	-2	-2	0	4	4
Érosion	-2	4	-4	-4	0	4	2
Qualité de l'eau	-2	-1	-1	-1	0	0	2
Public	0	-2	-4	-4	-2	-4	0
Hiver	-2	-2	2	2	-2	4	2
Adaptation	3	3	3	0	0	6	3
Total	4	-12	-16	-21	4	13	31

Les meilleures solutions déterminées au tableau précédent peuvent être mieux visualisées dans la figure 4.1 qui suit.

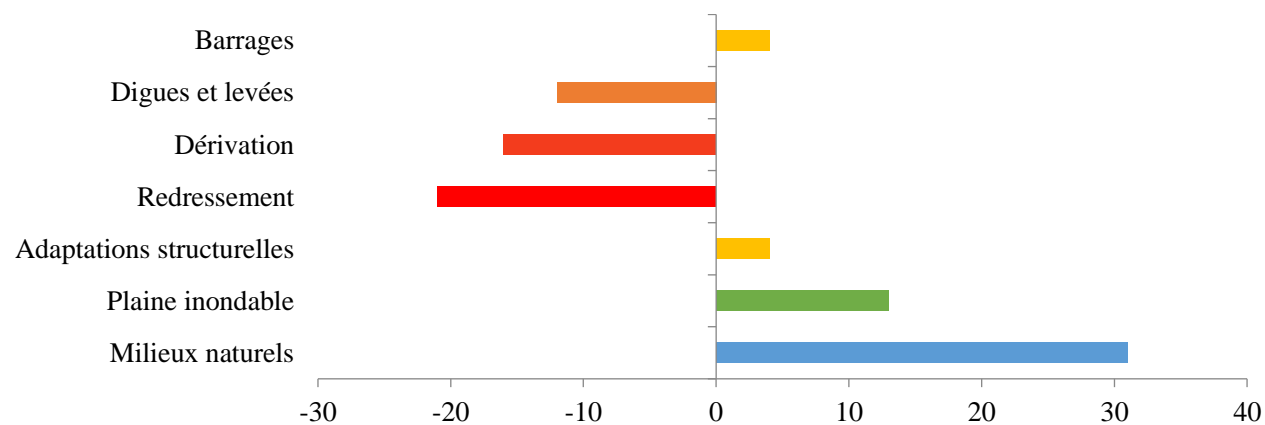


Figure 4.1 Représentation des résultats d'analyse qui montre les meilleures solutions pour la région.

Selon les résultats de l'analyse, la meilleure solution est de loin la restauration des milieux naturels. C'est une solution à court terme qui peut être plus ou moins efficace selon l'engagement de la municipalité. Libérer la plaine inondable est effectivement la solution idéale pour toutes les régions métropolitaines du monde, mais est également accompagné d'une plus grande opposition. Les barrages et les adaptations structurelles sont des solutions bien fondées, mais ne créent aucune amélioration des conditions inondables à grande échelle. L'installation à grande échelle de digues ou de levées, d'un canal de

dérivation ou même de redresser les bandes de la rivière des Outaouais sont des solutions sans sens dans cette région.

5. LES RECOMMANDATIONS

La meilleure stratégie selon la présente analyse est de créer ou de restaurer des milieux naturels. C'est une solution qui peut être appliquée rapidement et démontrer des résultats dès la prochaine inondation. Pour mettre en place cette solution, une étape primordiale consiste à identifier des endroits qui peuvent être démolis ou naturalisés. La première étape pour cette stratégie est de compléter le projet de l'Université de Waterloo et financé par l'IBC, de dépaver plus de 250 m² de routes et de stationnements dans le centre-ville d'Ottawa (Beeby, 2014, 4 juin). Si l'eau peut s'infiltrer dans les sols, elle ne contribue pas au débordement de la rivière. Une méthode comparable est la création de toits verts qui permet également l'utilisation d'une portion de l'eau dans un endroit ou l'eau s'écoule directement dans les égouts. (Erlichman, 2014)

Cette stratégie peut également être mise en place par la canalisation des eaux de surface dans des fossés plutôt que les égouts. Ceci permet à la fois l'infiltration des eaux et la déviation de l'usine de traitement des eaux afin de limiter la quantité de débordements (TRCA, 2016). À certains endroits dans la ville, comme le complexe sportif de l'Université d'Ottawa (G. Leblanc, notes de cours GEG 3302 : Gestion des ressources naturelles, 4 mars 2014), les eaux de pluie se font capter sous les espaces verts pour recirculer dans certains usages quotidiens de l'eau. Cette méthode fait diminuer la demande d'eau extraite des aquifères et réduit le volume d'eau qui se dirige aux égouts de la ville.

Les deux villes tentent de promouvoir l'espace vert dans le centre-ville et aux alentours afin d'aider aux efforts de conservation du pays et pour permettre au public de profiter d'espaces verts. Ce fait en lui-même rend possible la mise en place de cette solution. Le but ultime de la création de parcs est de lentement naturaliser la plaine inondable sans forcer l'expropriation de tous les propriétaires d'un seul coup.

Le plus gros problème présent lors de l'analyse de la libération de la plaine inondable en tant que solution est la volonté du public et de la municipalité. Les deux provinces et le fédéral encouragent cette solution (MAMOT, 2017a), mais la décision ultime demeure dans la municipalité. Les villes sont plus grandes et ont un plus grand pouvoir de négociation pour permettre la construction en zones inondables. En plusieurs années, elles pourront accomplir plus de progrès vers cette solution qu'elles ne seront capables en quelques mois.

Similairement, les citoyens sont habitués à pouvoir habiter dans ces régions et avoir un accès privé à la rivière. Enlever cet accès subitement va sans doute mener à une forte opposition publique, surtout chez les riches qui ont de grandes propriétés avec beaucoup d'influence politique. Il est alors recommandé que les

municipalités créent des parcs à proximité des plaines inondables pour encourager les citoyens qui n'ont pas accès à l'eau d'appuyer cette stratégie à long terme.

La solution des barrages est bien connue, largement répandue dans le système riverain en question et favorisée depuis de nombreuses années. Par contre, c'est seulement une solution partielle. Les barrages sont utiles en période de sécheresse et lors de petites inondations, mais leur utilisation se fait également critiquer dès qu'une inondation a lieu. Deux mentalités existent quant à leur utilisation. D'un côté, ceux qui habitent en amont des villes ne veulent pas se faire inonder pour sauver des personnes qui choisissent de construire leurs maisons sur une plaine inondable. De l'autre opinion, les résidents dans les villes sont établis dans la plaine inondable depuis des années parce que les barrages les protègent. Ils ne devraient pas être inondés par une mauvaise gestion de l'eau. La troisième opinion rarement considérée est que les autorités qui gèrent les barrages font leur possible pour limiter les inondations, mais les structures ne sont pas construites pour retenir un tel volume d'eau.

Restaurer la rivière en enlevant les barrages est une pire solution que les maintenir à leur état actuel. D'ailleurs, l'ajout d'autres barrages n'est pas une solution, car les conséquences négatives seraient supérieures aux bénéfices. Trop de barrages réduisent le débit de la rivière et le potentiel économique de la production hydroélectrique tout en détruisant plus de villages et de terres agricoles dans les régions en amont. Laisser les barrages en place ne cause pas de problèmes et permet un certain niveau de protection pendant que les municipalités mettent en place ces autres solutions plus efficaces.

Les adaptations structurelles sont des mesures qui peuvent être mises en place par les individus pour avoir plus de protection. S'ils désirent de continuer à habiter sur la plaine inondable, ce sont des mesures qu'ils auront à entreprendre au cas où les méthodes de la ville et du bassin versant ne sont pas suffisantes pour contrer les inondations futures.

Les autres solutions analysées ne sont pas possibles dans le contexte présent, mais, comme observées dans la comparaison avec les mesures de Winnipeg, peuvent être très efficaces ailleurs au pays et au monde.

Les stratégies mentionnées ci-haut sont applicables à toutes les régions urbaines sur un système riverain majeur. Des villes dont la topographie est similaire, comme Sherbrooke, Sudbury, Washington D.C. ou Philadelphie, sont plus facilement comparées à la région d'Ottawa/Gatineau. Les stratégies de gestion des eaux qui s'applique bien dans une région ne présentent pas toujours des options valables à un autre endroit. De plus, les changements climatiques anticipés et les conséquences qu'ils causent sont différents hors de la région climatique du nord-est du continent nord-américain.

Les mêmes principes d'infiltration existent dans les montagnes, les plaines et les régions côtières. L'utilisation de barrage sera par contre différente dans un grand bassin d'eau comme les Grands Lacs ou

l'océan que dans le contexte riverain de la rivière des Outaouais. Même le fleuve Saint-Laurent possède un débit trop élevé et des conditions trop variables pour être efficacement géré par un barrage.

L'utilisation des barrages sera également différente dans les prairies où le fait de retenir de l'eau dans la plaine inondable peut inonder trois villages en entier. Ce sont ces endroits où certaines des autres stratégies analysées peuvent être mises en pratique plus efficacement.

Les digues peuvent être employées dans les cas où aucune autre grande ville n'est localisée en aval et si la plaine inondable est relativement peu développée. Ce sont généralement des endroits situés près de l'exutoire d'une rivière avant qu'elle se jette dans un grand bassin d'eau. Souvent, une rivière se fait redresser avant que des digues sont construites pour optimiser le ratio d'écoulement : érosion (Internal Joint Commission et KGS Group, 2000).

Les levées et le principe du mur de rétention sont relativement communs dans les villes côtières. Depuis l'ouragan Katrina en 2005, ces structures sont construites en matériaux durables avec des structures de pompage (Jackson, s. d.). Elles sont assujetties à des réparations constantes (California Department of Water Resources, 2015), car c'est parmi les seules sources de protection que possèdent ces régions face aux tempêtes.

Le canal de dérivation est une bonne idée en théorie. Il permet à l'eau de circuler selon un régime naturel tout en évitant qu'il déborde dans la ville. Dans une région montagneuse, il est inutile puisque des infrastructures de pompage sont requises pour le faire fonctionner. D'ailleurs, il peut servir de lien entre des tributaires pour évacuer l'eau plus rapidement sans redresser le chenal. Le Duff Ditch, soit le canal de dérivation à Winnipeg dans les années 1960, a permis d'éviter plusieurs catastrophes jusqu'à présent dont l'inondation de 1997 qui a causé du chaos dans toutes les provinces de l'ouest. Cette solution fonctionne dans ce cas parce que c'est une région sans collines avec des sols malléables et une petite inclinaison qui suit la rivière Rouge. (Passfield, 2012)

La solution idéale, peu importe l'emplacement géographique ou climatique de la ville, est de libérer la plaine inondable. C'est une solution à long terme qui requiert de nombreuses années à mettre en place en plus d'un budget plus large et d'une coopération accrue de la population et des instances publiques. Il incombe à la ville de décider quand les preuves des changements climatiques seront suffisantes pour choisir de protéger les citoyens plutôt que leur donner le droit d'habiter sur les plaines inondables.

CONCLUSION

Les grandes villes doivent trouver un moyen de gérer le surplus des eaux d'inondations qui deviennent progressivement plus communes. La région de la capitale nationale possède le défi supplémentaire de devoir partager la gouvernance entre le Québec, l'Ontario et les deux villes. Les approches qu'elles utilisent doivent alors être similaires pour optimiser les résultats.

Les inondations entraînent de nombreuses conséquences dont la contamination des sources d'eau en plus de l'érosion et d'un risque plus élevé de glissements de terrain. Les espèces vivantes, soit animales et humaines, doivent quitter leurs habitats, et ce de façon semi-permanente. Les villes n'ont aucune motivation à restreindre la construction dans leurs zones inondables alors une solution est requise pour protéger les personnes qui habitent dans ces lieux.

La meilleure solution trouvée pour la région est de créer ou de restaurer des milieux naturels dans les deux villes. Par la suite, les municipalités peuvent tranquillement libérer la plaine inondable de toute construction humaine et la transformer en parcs. Entre temps, certaines adaptations structurelles ont démontré un certain niveau d'efficacité pour réduire les dommages causés par les inondations. Les barrages sont des structures efficaces pour retenir les eaux tant qu'elles ne débordent pas, mais on ne peut pas ajouter d'autres barrages sans pertes économiques dans le secteur de l'énergie. L'installation de digues fonctionne seulement si la municipalité demeure propriétaire de la bande riveraine ce qui n'est pas le cas à Ottawa/Gatineau. Les canaux de dérivation sont également une solution pour un endroit autre que celui-ci avec moins de collines et de plus petites distances entre les cours d'eau. C'est complètement impossible de redresser le chenal de la rivière des Outaouais puisque la rivière est trop grande et le cœur de Gatineau serait détruit. Toutes sont de très bonnes solutions à certains endroits dans le monde même si elle ne contribue pas directement dans la région en question.

Dorénavant, les prévisions par les modèles de changements climatiques semblent se confirmer. Alors, il reste à voir combien de temps s'écoulera avant la prochaine crue de 100 ans. Est-ce que la ville oubliera la leçon des inondations de 2017 ou va-t-elle manquer de temps pour effectuer les réparations des dommages qu'elles ont causés ainsi que mettre en place des solutions pour prévenir ces dommages à l'avenir?

RÉFÉRENCES

- Agence de bassin versant des 7 (ABV des 7) (2014). *Plan directeur de l'eau de la zone de gestion de l'ABV des 7. Bassins versants des rivières Blanche Ouest, Coulonge, Dumoine, Gatineau, Noire, Quyon et des Outaouais (résiduel)*. (Rapport de gestion des eaux final) Repéré à : <http://abv7.org/administration/content/UserFiles/File/PDE/Portrait%202%20-%20Final.pdf>
- Anctil, F. (2015). *L'eau et ses enjeux* (4^e éd.). Laval, QC : les presses de l'université Laval.
- Association des avocates et avocats en droit de la famille de l'Outaouais (2017). Les membres du Barreau de l'Outaouais sont invités à s'impliquer pour aider les sinistrés des inondations en Outaouais. *Barreau de l'Outaouais, section actualité*. Repéré à http://www.barreaudehull.qc.ca/actualites/actualite_94.html
- AquaPortail (2017). Définition : précipitation orographique. *AquaPortail, section dictionnaire*. Repéré à <https://www.aquaportail.com/definition-12855-precipitation-orographique.html>
- Beckinsale, L. et Volks, B. (2017). How Flooding Affects Our Birds. *Gilligallou Bird Inc*. Repéré à <http://gilligalloubird.com/flooding-affects-birds/>
- Beeby, D. (2014, 4 juin). Anti-flood projects target 5 cities across Canada. *The Canadian Press*. Repéré à <http://globalnews.ca/news/1373001/anti-flood-projects-target-5-cities-across-canada/>
- Brooks, G. R. et St. George, S. (2015). Flooding: Structural Flood Control Measures, and Recent Geomorphic Research along the Red River, Manitoba, Canada. Dans Paul F. Hudson et Hans Middelkoop (dir.), *Geomorphic Approaches to Integrated Floodplain Management of Lowland Fluvial Systems in North America and Europe* (p. 87-117). New York, NY : Springer. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/283847043_Flooding_Structural_Flood_Control_Measures_and_Recent_Geomorphic_Research_along_the_Red_River_Manitoba_Canada
- California Department of Water Resources (DWR). (2015). Flood Management. *DWR, section Water management*. Repéré à <http://www.water.ca.gov/floodmgmt/>
- Canadian Geoscience Education Network. (2017). Geoscape - Ottawa-Gatineau: Flooding. *Canadian Geoscience Education Network, section Geoscape – Ottawa-Gatineau – Flooding*. Repéré à <http://www.cgenarchive.org/ottawa-gatineau-flooding.html>
- Canadian Red Cross. (2010). Guide to Flood Recovery. *City of Ottawa, section Residents – Emergency Services – Red Cross Guide*. Repéré à <http://www.redcross.ca/crc/documents/3-1-2-4-Flood-Recovery-Guide.pdf>
- City of Edmonton. (2017). Flood Prevention Tips. *City of Edmonton, section Residential Neighbourhoods – Flood Prevention*. Repéré à https://www.edmonton.ca/residential_neighbourhoods/flooding_prevention/flood-home-property-tips.aspx
- City of Ottawa. (2003). Official Plan – Schedule K: Environmental Constraints. *Research & Technical Services Division: Development Services Department*. Repéré à http://162.250.188.168/files/OP_Schedule_K.jpg

- City of Ottawa. (2017a). Carte interactive de la ville d'Ottawa. *City of Ottawa, section Mairie - Apprendre à connaître sa ville – Application geoOttawa*. Repéré à <http://maps.ottawa.ca/geoOttawa/>
- City of Ottawa. (2017 b). Flood recovery information. City of Ottawa, *section Residents – Emergency Services*. Repéré à <http://ottawa.ca/en/residents/emergency-services/flood-recovery-information>
- City of Winnipeg. (2004). Proposed Floodway Expansion Project: Environmental Assessment : 11.0 City of Winnipeg Flood Protection Infrastructure. *Government of Manitoba, section Sustainable Development – Environmental Approvals – Public Registry 4967.00 – Red River Floodway Expansion*. Repéré à <http://www.gov.mb.ca/sd/eal/registries/4967floodway/supp/section11.pdf>
- Clifford, N., French, S. et Valentine, G. (2012). *Key Methods in Geography* (2^e éd.). London, UK : SAGE Publications Ltd.
- Commission de la capitale nationale (CCN). (s. d.). Remise en état des sentiers et des installations situées près des berges endommagés par les inondations. *CCN, section nouvelles*. Repéré à <http://ccn-ncc.gc.ca/nouvelles/p2>
- Commission européenne. (2003). Best Practices on Flood Prevention, Protection and Mitigation. *Commission européenne, section Environnement — Eau – Inondations*. Repéré à http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/pdf/flooding_bestpractice.pdf
- Conseil pour la réduction des accidents industriels majeurs (CRAIM). (2017). *Guide de gestion des risques d'accidents technologiques majeurs* (7^e éd.). Montréal, Québec : QuadriScan.
- Conservation Ontario (CO). (2010). Flood Prevention & Protection. *CO section Media – Roles and Responsibilities of Conservation Authorities*. Repéré à http://conservationontario.ca/media/CA_roles_and_responsibilities_CO_2010.pdf
- Conservation Ontario (CO). (2012). Flood Status Messaging: Conservation Authorities. *CO, section Media – Flood Fact Sheet*. Repéré à <http://conservationontario.ca/media/2012COFloodFactSheet.pdf>
- Conservation Ontario (CO). (2013a). Conservation Authority Flood Management. *CO, section what we do – flood management*. Repéré à <http://conservationontario.ca/what-we-do/flood-management/conservation-authority-flood-management>
- Conservation Ontario (CO). (2013 b). Flood Management. *CO, section what we do*. Repéré à <http://conservationontario.ca/what-we-do/flood-management>
- Cross the Ottawa River to get to work? Stay home* (2017, 8 mai). Cross the Ottawa River to get to work? Stay home, Gatineau says. *CBC News*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/ottawa/flooding-open-closed-ottawa-gatineau-1.4104066>
- Cuddington, W. (2017, 9 mai). Flood Updates : River levels should start falling, but soil erosion causes Hwy. 174 closure. *Ottawa Citizen*. Repéré à <http://ottawacitizen.com/news/local-news/glimmer-of-good-news-as-ottawa-river-reached-peak-levels-monday-morning>
- Dai, A. (2010). Drought under global warming: a review. *Wire's Climate Change*, 2(1), 45-65. Repéré à <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wcc.81/full>

- Dauncey, G. (2009). *The Climate Challenge: 101 solutions to global warming* (1^{ère} éd.). Gabriola Island, BC: New Society Publishing.
- Deal, M. (2011, 8 avril). Flood Fight 2011 - Breezy Point. *Winnipeg Free Press*. Repéré à <https://www.winnipegfreepress.com/multimedia/pov/Flood-Fight-2011---Breezy-Point-119521429.html>
- Delamont, K. (2017, 7 novembre). Recent rains put strain on city's sewer system: Climate Change : Over 500 M litres of sewage dumped into river in two days. *Metro News*. p. 4
- Ducks Unlimited Canada (DUC). (2017). Recognizing Potential. DUC, section Stories – Landowners. Repéré à <http://www.ducks.ca/stories/landowners/recognizing-potential/>
- Earle, S. (2008). Physical Geology. *Colombie-Britannique, section BCcampus*. Repéré à <https://open.bccampus.ca/>
- EmergWeb. (2017). Winnipeg's Primary Dyke System: Area Map of Primary Dyke. *City of Winnipeg, section EmergWeb – Flood – Primary dyke*. Repéré à <http://www.winnipeg.ca/emergweb/Flood/PrimaryDike.stm>
- Environment and Climate Change Canada (ECCC). (2013). *Reducing Flood Damage*. Repéré à <https://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=En&n=72FDC156-1>
- Environnement et Changements climatiques Canada (ECCC). (2016). *Tortue molle à épines*. Repéré à https://www.registrelep-sararegistry.gc.ca/virtual_sara/files/public/Tortue%20molle-epines_Fra.pdf
- Erlichman, P. (2014). Green Roof Advocacy. *Living Architecture Monitor*, 16(3), 2.
- ESchoolToday. (2017). Your cool facts and tips on flooding. *ESchoolToday, section Natural disasters - Floods – Flood prevention methods*. Repéré à <http://eschooltoday.com/natural-disasters/floods/flood-prevention-methods.html>
- Fortin, D. et Poulain, A. (2013). EVS 1101 & EVS 1501 : Université d'Ottawa. Dans J. Withgott, S. Brennan et B. Murck (dir.), *The Pearson Custom Library for Environmental Science* (Édition spéciale). Boston, MA : Pearson Learning Solutions.
- Fraser, A. (2017, 9 mai). Flood Updates : 'Slight decline' in water levels; Gatineau offices set to reopen. *Ottawa Citizen*. Repéré à <http://ottawacitizen.com/news/local-news/flood-updates-water-levels-peak-highways-partially-reopen-but-gatineau-offices-schools-remain-shut>
- Feltmate, B. (2014, 2 juillet). These Manitoba floods are just the beginning. We need to prepare for worse. *The Globe and Mail*. Repéré à <https://www.theglobeandmail.com/opinion/these-manitoba-floods-are-just-the-beginning-we-need-to-prepare-for-worse/article19409725/?arc404=true#dashboard/follows/>
- Gillis, M. (2017, 30 octobre). Updated: Heavy flooding as Ottawa smashes weather record. *Ottawa Citizen*. Repéré à <http://ottawacitizen.com/news/local-news/ottawa-smashes-another-weather-record-while-more-rain-flooding-expected>

- Hardy, S. et Stole, B. (2017). Louisiana officials search for alternative funding, fast turnaround for Comite River Diversion Canal. *The advocate*. Repéré à http://www.theadvocate.com/baton_rouge/news/environment/article_9f6915e0-a45f-11e7-be35-1b208a594134.html
- Harris, K. (2017, 9 mai). 'We pull together' : Federal government to pick up costs to deploy military to flood zones. *CBC News*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/politics/trudeau-flooding-military-caf-1.4106070>
- Insurance bureau of Canada (IBC). (2015). The Financial Management of Flood Risk: An international review: Lessons learned from flood management programs in G8 countries 2015. *BAC, section Documents — Désastres naturels*. Repéré à http://assets.ibc.ca/Documents/Natural%20Disasters/The_Financial_Management_of_Flood_Risk.pdf
- Internal Joint Commission, KGS Group (2000). Flood Protection for Winnipeg: Part III – Pre-Feasibility Studies. *IJC, section rel*. Repéré à <http://www.ijc.org/rel/pdf/kgspart111execsum.pdf>
- International Pannel on Climate Change (IPCC). (2007). North America: Assessment of projected climate change for North America. Climate Change 2007 : Working Group I: The Physical Science Basis. Repéré à https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch11s11-5.html
- Iowa State University (2017). Dealing with mosquitoes related to the flood. Repéré à <https://flood.unl.edu/f5748255-ed3-4990-beb2-078822c0e8ed.pdf>
- Ireton, J. (2017, 14 mai). Experts urge caution before rebuilding on floodplain. *CBC News*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/ottawa/floodplain-engineers-rebuilding-1.4113386>
- Jackson, A. (s. d.). Flood Management. *Geography AS Notes, section info*. Repéré à <https://geographyas.info/rivers/flood-management/>
- Komarnicki, J. (2013, 5 octobre). Winnipeg Floodway has Saved \$32 billion in Flood damages. *Calgary Herald*. Repéré à <http://www.calgaryherald.com/news/winnipeg+floodway+saved+billion+flood+damages/9000252/story.html>
- Laucius, J. E. (2017, 19 août). No swimming: City issues advisory for five beaches. *Ottawa Sun*. Repéré à <http://www.ottawasun.com/2017/08/19/no-swimming-city-issues-advisory-for-five-beaches>
- Le, L. X. (2016, 28 mars). What Vietnam can learn from Singapore about flood risk management. *The World Bank, section Sustainable Cities*. Repéré à <http://blogs.worldbank.org/sustainablecities/what-vietnam-can-learn-singapore-about-flood-risk-management>
- MacGregor, R. (2015, 24 juillet). The story of the Ottawa River: Priceless and precarious. *The Globe and Mail*. Repéré à <https://beta.theglobeandmail.com/news/national/the-story-of-the-ottawa-river-priceless-and-precarious/article25669037/?ref=http://www.theglobeandmail.com&>
- Manitoba Clean Environment Comission. (2002). Report to the Government of Manitoba on Public Meetings: Flood Protection Options for the City of Winnipeg: Main Report. (Rapport sommaire des consultations publiques). Repéré à http://www.cecmanitoba.ca/resource/reports/Commissioned-Reports-2001-2002-Report_Government_Public_Meetings_Flood_Protection_Options_Winnipeg.pdf

- Mann, M. E. et Kump, L. R. (2009). *Dire Predictions: Understanding Global Warming: The illustrated guide to the findings of the IPCC* (1^{ère} éd.). New York, NY : DK Publishing.
- McCooley, P. (2017, 26 juillet). A wet and dreary July. *Ottawa Citizen*. p. A3-64.
- McFarland, E. L., Hunt, J. L. et Campbell, J. L. (2007). *Energy, Physics and the Environment* (3^e éd.). Mason, OH : Cengage Learning.
- Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire du Québec (MAMOT). (2017a). *Application de la politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI) et ajout de mécanismes pour son application*. Repéré à http://gatineau.ca/docs/accueil/20170418_crue_printaniere_2017/20170720_napperon.fr-CA.pdf
- Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire du Québec (MAMOT). (2017 b). *Inondations printanières 2017 : Aménagement du territoire*. Repéré à <http://www.mamot.gouv.qc.ca/ministere/inondations-printanieres-2017-amenagement-du-territoire/>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2003). *Zones inondables — Rapports techniques et cartographie en eau libre*. Repéré à <http://www.cehq.gouv.qc.ca/zones-inond/rapports-carto.htm>
- Mississippi Valley Conservation Authority (MVCA). (2017). Water Levels & Flows. *MVCA, section water levels*. Repéré à <http://mvc.on.ca/water-levels/>
- Mississippi Valley Conservation Authority (MVCA), Ontario Power Generation (OPG), Canadian Hydro Developers Inc. (CHD), Enterdu Power Systems Ltd. (EPS), Mississippi Valley Power Corporation (MVPC), Ontario Ministry of Natural Resources (OMNR). (2006). *Mississippi River Water Management Plan*. (Rapport de gestion des eaux final préparé pour OMNR) Kemptville, Ontario : MVCA.
- Morissette, J. et Donnelly, M. (2009). Milieux riverains : Défis et avenues pour la conservation et l'aménagement forestier durable. *Programme Transfert des connaissances et exploitation des technologies (TCET), Section Réseau de gestion durable des forêts*. Repéré à <http://biblio.uqar.ca/archives/030148973.pdf>
- Municipality of New Westminster. (2016). Public Safety: Flood Management. *New Westminster, section Services*. Repéré à <https://www.newwestcity.ca/services/public-safety/flood-management>
- NASA Goddard Space Flight Center. (2013). North America Climate Change in the Coming Century. *Spaceref, section Terre*. Repéré à <http://spaceref.com/earth/north-american-climate-change-in-the-coming-century.html>
- National Flood Prevention (NFP). (2017). NFP solutions help reduce the risk of water damage as a result of home flooding. Repéré à <http://www.nationalfloodprevention.com/>
- Nationwide Mutual Insurance Company (NMIC). (2017). Flood Preparedness. *NMIC, section inondations*. Repéré à <https://www.nationwide.com/floods.jsp>
- Olivier, J. (2017, 30 octobre). Un record sans précédent vient de tomber au Québec. *Météo-médias*. Repéré à <https://www.meteomedia.com/nouvelles/articles/record-sans-precedent-a-gatineau/88516à>
- Olivier, M. (2015). *Chimie de l'environnement* (8^e éd.). Longueuil, Québec : Lab éditions.

- Ontario Ministry of Municipal Affairs (OMMA) et Ontario Ministry of Housing (OMH). (2017). *Disaster Recovery Assistance*. Repéré à <http://www.mah.gov.on.ca/Page13722.aspx>
- Ottawa Property Shop Realty Inc. Brokerage. (2017). Ottawa MLS Listings. *Ottawa Property Shop Realty Inc. Brokerage, section Search – waterfront*. Repéré à http://www.ottawaareahomesearch.com/search/quick/PDQVLZZZ5X8LY3LQY/Ottawa-MLS-Listings/?src=google&gclid=EAIaIQobChMI4JWmz7eC2AIVUzVpCh0_WwfwEAAYASAAEgJMpPD_BwE
- Ottawa Public Health (2017). Beach Water Quality Results. *Ottawa Public Health, section Public Health Services – Water Quality and Safety*. Repéré à <http://www.ottawapublichealth.ca/en/public-health-services/beach-water-quality-results.aspx>
- Ottawa River full of untreated sewage during May flooding* (2017, 10 mai). Ottawa River full of untreated sewage during May flooding. *CBC News*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/ottawa/ottawa-river-full-of-untreated-sewage-1.4109239>
- Ottawa Riverkeeper. (2017). Brewery Creek and Beyond: The Problem with Combined Sewer Overflows in Ottawa and Gatineau. *Sentinelles Outaouais, Section publications*. Repéré à <https://www.ottawariverkeeper.ca/publications/>
- Ottawa River Planning Board. (2011). Integrated Management of the Principal Reservoirs of the Ottawa River Basin. Repéré à <http://ottawariver.ca/>
- Passfield, R. W. (2012). Manitoba's History: "Duff's Ditch": The Origins, Construction, and Impact of the Red River Floodway. *Manitoba Historical Society*. Repéré à http://www.mhs.mb.ca/docs/mb_history/42/duffsditch.shtml
- Pearson, D. (2007). The State of Floodplain Mapping in Ontario. *Conservation Ontario, section Newmarket*. Repéré à https://www.iclr.org/images/2007_June_ICLRPRESFloodMapping.pdf
- Pearson, M. (2016, 9 juin). What caused Ottawa's giant sinkhole? Investigation and repairs underway. *Ottawa Citizen*. Repéré à <http://ottawacitizen.com/news/local-news/rideau-street-sinkhole-gas-leak-power-outage-forces-rideau-centre-evacuation>
- Pedneaud-Jobin, M. (2017, 7 juillet). Letter of the mayor of Gatineau to the government of Québec. *Ville de Gatineau, section crue printanière 2017*. Repéré à https://www.ville.gatineau.qc.ca/docs/accueil/20170418_crue_printaniere_2017/20170707_decret_inondations.en-CA.html
- Pluies diluviennes à Gatineau. (2017, 30 octobre). Pluies diluviennes à Gatineau : la panique des personnes évacuées. *Radio-Canada*. Repéré à <http://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1064210/pluie-reseau-routier-ottawa-gatineau-fermeture-inondations>
- Public Health Agency of Canada. (2017). *Publications : Diseases and conditions*. Repéré à <https://www.canada.ca/en/services/health/publications/diseases-conditions.html>
- Quebec Ministry of public safety (MSPQ). (2017). *Financial Assistance for Disaster Victims*. Repéré à <http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/en/civil-protection/financial-disaster-victims.html>
- Rice, W. (2017, 29 juillet). Plenty of fish: Anglers foresee banner fishing season on Ottawa River. *CBC News*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/ottawa/ottawa-river-summer-fishing-1.4222778>

- Romero-Lankao, P., Smith, J.B., Davidson, D.J., Diffenbaugh, N.S., Kinney, P. L., Kirshen, P.,... Villers Ruiz, L. (2014). North America. Dans V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir,... L.L. White (dir.), *Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B : Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1439-1498.
https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap26_FINAL.pdf
- Rabson, M. (2017, 3 octobre). Ottawa 'not prepared' to deal with impacts of climate change, environment commissioner says. *The Canadian Press*. Repéré à <https://www.thestar.com/news/canada/2017/10/03/ottawa-not-prepared-to-deal-with-impacts-of-climate-change-environment-commissioner-says.html>
- RecyConsult. (2010). Dictionnaire environnement. *RecyConsult, section dictionnaire*. Repéré à <http://www.dictionnaire-environnement.com/>
- Rideau Valley Conservation Authority (RVCA). (2017). Watershed Condition Statements. *RVCA, section Monitoring & Reporting*. Repéré à <https://www.rvca.ca/watershed-conditions-statements>
- Sentinelle Outaouais. (2017). La déclaration de Gatineau. *Sentinelle Outaouais, section cartes*. Repéré à <https://ork-so.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=8679652f13094e1ea31ef5363f2ee499&webmap=155b74c361924b2fa345886b291ebf4f>
- Service Météorologique du Canada (SMC) et Environnement et Changements climatiques Canada (ECCC). (2011). *Pluies diluviennes des 23 et 24 juin 2011 en Outaouais : Unité suivie et adaptation au climat*. (Rapport d'événement météorologique significatif). Repéré à http://www.climat-quebec.qc.ca/htdocs/data_fixe/page/fr/p_suivi_climatologique/p_evenements_exceptionnels/Deluge_Outouais_23-24_juin_2011.pdf
- Skura, E. (2017, 12 mai) Full effect of flooding on Ottawa Valley homes, cottages still not known. *CBC News*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/ottawa/ottawa-valley-flooding-1.4110747>
- Some Gatineau homeowners in flood zone will not be allowed to rebuild* (2017, 24 mai) Some Gatineau homeowners in flood zone will not be allowed to rebuild. *CBC News*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/ottawa/gatineau-homeowners-flooding-rebuild-1.4128613>
- South Nation Valley Conservation (SNVC). (2015). North Castor River 2015 Stream Watch Report. *SNVC, section Water – Reports*. Repéré à <http://www.nation.on.ca/sites/default/files/City%20of%20Ottawa%20Stream%20Watch%20Full%20Report%202015.pdf>
- South Nation Valley Conservation (SNVC). (2017a). Floods and Landslides. *SNVC, section Water – Reports*. Repéré à <http://www.nation.on.ca/sites/default/files/2017%2005%20BD%20Fldg.pdf>
- South Nation Valley Conservation (SNVC). (2017 b). Press Releases. *SNVC, section Ressources – Media*. Repéré à <http://www.nation.on.ca/resources/media/press-releases#1>
- Spears, T. (2015, 21 mai). Ottawa rated most 'flood-proof' city in Canada. *Ottawa Citizen*. Repéré à <http://ottawacitizen.com/news/local-news/ottawa-rated-most-flood-proof-city-in-canada>

- St-Pierre, G. (2014, 3 avril). Gatineau entame des travaux pour réduire les inondations. *Le Droit*. Repéré à <http://www.lapresse.ca/le-droit/actualites/ville-de-gatineau/201404/03/01-4754266-gatineau-entame-des-travaux-pour-reduire-les-inondations.php>
- Toronto and Region Conservation Authority (TRCA). (2016). Flood Risk Management. *TRC, section Flood Risk Management*. Repéré à <https://trca.ca/conservation/flood-risk-management/>
- Upper Thames River Conservation Authority (UTRCA). (2017). London Dyke Inspection 2004 : Inspection of Flood Control Structures in the City of London (Main Report). *UTRCA, section Water Management – London dyke system*. Repéré à <http://thamesriver.on.ca/water-management/london-dyke-system/london-dyke-inspection/>
- Varrod, P., Morvan, D., Gérardin, F. et Lucot-Sarir, A. (1995). *Le Robert de poche*. Paris, France
- Ville de Gatineau. (2017a). Emergency measures: What to do in case of flooding. *Ville de Gatineau, section Public Safety*. Repéré à http://www.gatineau.ca/portail/default.aspx?p=securite_publique/mesures_urgence/quoi_faire/inondation
- Ville de Gatineau (2017 b). Inondations : Conseils aux citoyens. *Ville de Gatineau, section accueil — crue printanière 2017*. Repéré à http://www.gatineau.ca/docs/accueil/20170418_crue_printaniere_2017/conseils_citoyens_alerte_inondation.fr-CA.pdf
- Wildlife spotted in unusual areas as flood waters push creatures out of homes*. (2017, 13 mai). Wildlife spotted in unusual areas as flood waters push creatures out of homes. *CBC News*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/ottawa/wildlife-flooding-national-capital-region-1.4112212>
- Yellow maps. (2010). Ottawa Topo Maps : Ottawa Surrounding Area Topos (NTS 031). *Yellow maps, section topographic maps — Ottawa*. Repéré à <http://www.canmaps.com/topo/nts250/low/031g.htm>
- Zimonjic, P., Roman, K. et Simpson, K. (2017, 9 mai). One way to battle future flooding: stop building on flood plains, say experts. *CBC News*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/politics/building-on-flood-plains-goodale-1.4107474>

BIBLIOGRAPHIE

- Duffy, A. (2017, 8 mai). Your house has been flooded? Here's how to get assistance for it. *Ottawa Citizen*. Repéré à <http://ottawacitizen.com/news/local-news/my-house-has-been-flooded-now-what>
- Environnement et Changements climatiques Canada (ECCC) (2010). *Les inondations au Canada — Québec*. Repéré à <https://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=C0122DA3-1>
- EPCOR. (2017a). City-wide Flood Mitigation Study. *EPCOR, section Products and Services – Drainage – Flooding and Flood Prevention*. Repéré à https://www.epcor.com/products-services/drainage/flooding-flood-prevention/Pages/city-wide-flood-mitigation-study.aspx?utm_source=coe-redirect&utm_medium=redirect
- EPCOR. (2017 b). Our Flood Prevention Strategies. *EPCOR, section Products and Services – Drainage*. Repéré à https://www.epcor.com/products-services/drainage/flooding-flood-prevention/our-flood-prevention-strategies/Pages/default.aspx?utm_source=coe-redirect&utm_medium=redirect
- Feltmate, B. et Moudrak, N. (2016). Climate Change and the Preparedness of Canadian Provinces and Yukon to Limit Potential Flood Damage. *ICCA, section Recent Reports*. Repéré à <http://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2016/10/Intact-Centre-Climate-Change-and-the-Preparedness-of-Canadian-Provinces-and-Yukon-Oct-2016.pdf>
- Feltmate, B. et Thistlethwaite, J. (2012). Climate Change Adaptation : A Priorities Plan for Canada. *ICCA, section Recent Reports*. Repéré à [http://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/docs/Climate%20Change%20Adaptation%20-%20A%20Priorities%20Plan%20for%20Canada%20\(2012\).pdf](http://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/docs/Climate%20Change%20Adaptation%20-%20A%20Priorities%20Plan%20for%20Canada%20(2012).pdf)
- Feltmate, B. et Thistlewaite, J. (2013, 29 juillet). Canada's real housing crisis: Extreme weather. *The Globe and Mail*. Repéré à : <https://www.theglobeandmail.com/opinion/canadas-real-housing-crisis-extreme-weather/article13480928/?arc404=true>
- Government of Manitoba. (2017). *City of Winnipeg Flood Protection*. Repéré à <https://www.gov.mb.ca/flooding/fighting/winnipeg.html>
- Hayhoe, K., Wake, C., Anderson, B., Liang, X.-Z., Maurer, E., Zhu, J.,... Wuebbles, D. (2007). Regional Climate Change Projections for the Northeast U.S.. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 1*(Northeast United States Climate Impact Assessment). Repéré à <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>
- Inondations : des résidents de Gatineau quittent leur domicile* (2017, 21 mai). Inondations : des résidents de Gatineau quittent leur domicile. *Radio-Canada*. Repéré à <http://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1029346/inondations-les-20-mm-de-pluie-attendus-empireront-la-situation-en-outaouais>
- Kirkey, S. (2017, 26 octobre). Warm winters, scorching summers: New maps project impact of climate change: All of Canada is projected to get warmer in the future, even under a low carbon scenario. *National Post*. Repéré à <http://nationalpost.com/news/canada/warm-winters-scorching-summers-new-maps-project-impact-of-climate-change>

- Met Office (2017). The global circulation. *Met Office, section Learning about the weather – how weather works – Global circulation patterns*. Repéré à <http://www.metoffice.gov.uk/learning/learn-about-the-weather/how-weather-works/global-circulation-patterns>
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). (2015). *Suivi hydrologique de différentes stations hydrométriques*. Repéré à <http://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/index.asp>
- Moudrak, N., Hutter, A. M. et Feltmate, B. (2017). When Big Storms Hit: The Role of Wetlands to Limit Urban and Rural Flood Damage. *ICCA, section Recent Reports*. Repéré à <http://www.intactcentreclimateadaptation.ca/wp-content/uploads/2017/07/When-the-Big-Storms-Hit.pdf>
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2015). NASA releases detailed global climate change projections. *NASA, section Climate Change – Vital Signs of the Planet*. Repéré à <https://climate.nasa.gov/news/2293/nasa-releases-detailed-global-climate-change-projections/>
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2017). Climate Prediction Center. *NOAA, section National Weather Service*. Repéré à <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>
- Natural Sciences and Engineering Research Council (NSERC). (2017). FloodNet: an NSERC Canadian Strategic Network. Repéré à <http://www.nsercfloodnet.ca/>
- Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry (MNR). (2014). *Ontario Flow Assessment Tool*. Repéré à <http://www.gisapplication.lrc.gov.on.ca/OFAT/Index.html?site=OFAT&viewer=OFAT&locale=en-US>
- Ottawa Riverkeeper. (2017 b). Basemap with flow directions. *Ottawa Riverkeeper, section maps*. Repéré à <http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=0a6bef2222e349239b714133809b0db>
e
- Porter, K. (2014, 11 avril). Ottawa conservation groups working to update floodplain maps. *CBC News*. Repéré à <http://www.cbc.ca/news/canada/ottawa/ottawa-conservation-groups-working-to-update-floodplain-maps-1.2607089>
- Seager, R., Ting, M. F., Held, I. M., Kushnir, Y., Lu, J., Vecchi, G.,... Naik, N. (2007). Model Projections of an Imminent Transition to a More Arid Climate in Southwestern North America. *Science*, 316 (5828), 1181-1184. Repéré à <http://ocp.ideo.columbia.edu/res/div/ocp/drought/science.shtml>
- Ville de Gatineau (2017 c). Spring flooding. *Ville de Gatineau, section accueil — crue printanière 2017*. Repéré à http://gatineau.ca/portail/default.aspx?p=accueil/20170418_crue_printaniere_2017







SCALE 1:2,000 ÉCHELLE

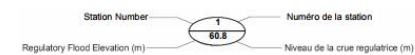
0 25 50 100 150 200

Meters / Mètres

MAP No. 25
CARTE No.

LEGEND / LÉGENDE

-  Regulatory Floodplain / La Crue Régulatrice
-  Regulatory Limit / Limite Réglementaire
-  Floodway (59.9) / Canal de Dérivation
-  Contours / Courbes
-  Watershed Boundary / Des Bassins Versants Limitrophes
-  Cross Sections / La coupe transversale



INDEX CONTOUR INTERVAL 2 METRES
WITH 0.5 METRE INTERMEDIATE CONTOUR
NORTH AMERICAN DATUM 1985

COURBES DE NIVEAU PRINCIPALES DE 2.0 MÈTRE
C COURBES DE NIVEAU INTERMÉDIAIRES DE 0.5 MÈTRE
Système de Référence Géodésique Nord-Américain

GENERAL INFORMATION

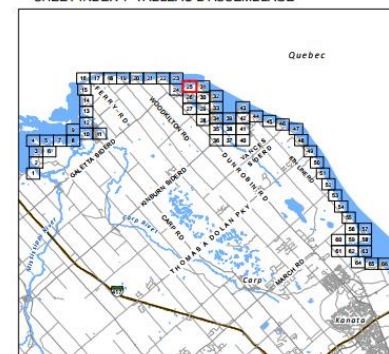
Vertical Datum: Mean sea level
Horizontal Datum: North American 1983
Map Projection: Ottawa Transverse Mercator Projection

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX

GENERAL INFORMATION		RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX	
Vertical Datum:	Mean sea level	Niveau de référence vertical:	Niveau moyen de la mer
Horizontal Datum:	North American 1983	Niveau de référence horizontal:	Nord-américain 1983
Map Projection:	Ottawa Transverse Mercator Projection	Projection cartographique:	Projection Mercator Transverse d'Ottawa



SHEET INDEX / TABLEAU D'ASSEMBLAGE



Revision #	Issue
1 - Dec 4, 2014	Public review
2 - Feb 18, 2015	Board approval

ANNEXE 1 : CARTES COMPLÈTES DE LA PLAINE INONDABLE DE LA FIGURE 2.7 (Suite) (Tiré de : City of Ottawa, 2003)

